

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA
INSTITUTO DE INGENIERÍA



**“EVALUACIÓN MULTICRITERIO PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOMASA
RESIDUAL DE BAJA CALIFORNIA”**

PRESENTA

DANIELA GUADALUPE LUCÍA MONTES NÚÑEZ

DIRECTORA DE TESIS

DRA. GISELA MONTERO ALPÍREZ

CODIRECTOR DE TESIS

DR. MARCOS ALBERTO CORONADO ORTEGA

MEXICALI, B.C., ABRIL 2022

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, gracias a Dios por haberme dado salud para la terminación del presente trabajo.

A mi hijo Guillermo y a mi esposo Alexei, por alentarme todos los días, por confiar en mí y darme las fuerzas para seguir adelante. A mi madre Guillermina y a mis hermanas Dulce, Diana y Denia por todo su amor y apoyo, por siempre estar cuando más las necesito.

A mi padre Guillermo y mi abuela Doña Lupe, que siempre confiaron en mí y ahora juntos son mi guía desde el cielo.

A la Dra. Gisela Montero, mi Directora de tesis, por toda la paciencia, por siempre atender mis dudas e inquietudes, por todas las observaciones oportunas, las cuales ayudaron al desarrollo de este trabajo.

Al Dr. Marcos Coronado, mi Codirector de tesis, compañero y amigo, por todos los consejos y el gran apoyo otorgado y sobre todo su amistad incondicional.

Al Dr. Ramón Ayala, mi asesor, compañero y amigo, por todas las observaciones y consejos, por escucharme siempre.

A mis compañeros y amigos, Laura Pérez, Alfonso Sagaste y Ángel León por su amistad y la ayuda brindada.

A mis compañeros del laboratorio de Biomasa y Bioenergéticos, Lisandra, Iracema, Jesús y Edson, por la ayudada ofrecida.

Y, por último, gracias al Instituto de Ingeniería y al Sindicato de Profesores Superación Universitaria por todas las oportunidades y facilidades brindadas.

¡Gracias a todos!

CONTENIDO

RESUMEN	8
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	10
JUSTIFICACIÓN	12
OBJETIVO GENERAL	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
HIPÓTESIS	14
ANTECEDENTES	15
Sector energético en México	16
Biomasa	17
Fuentes de generación de biomasa residual en Baja California	20
Evaluación Multicriterio (EMC)	21
Sistemas de Información Geográfica	23
Pretratamientos	24
Tecnologías de conversión	33
METODOLOGÍA	36
Definición de elementos para la EMC	36
Sistemas de Información Geográfica	37
Geolocalización de fuentes de biomasa	38
Análisis fisicoquímico de biomasa	49
Consideraciones para la estimación de biomasa residual en Baja California	50
Desarrollo de herramienta digital	60
RESULTADOS	69
CONCLUSIONES	92
REFERENCIAS	93
PRODUCCIÓN ACADÉMICA	99

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de la producción de energía primaria en México, 2019	17
Figura 2. Fuentes de generación de biomasa residual en Baja California.....	21
Figura 3. Diagrama del proceso general de la EMC	21
Figura 4. Proceso de autohidrólisis	29
Figura 5. Tecnologías de conversión de biomasa en energía.....	33
Figura 6. Definición de elementos	37
Figura 7. Mapa de trigo antes (a) y después (b) de georreferencias	39
Figura 8. Análisis espacial con clasificación sin supervisión.....	40
Figura 9. <i>Shapefile</i> de polígonos	41
Figura 10. Áreas de control y cultivos de trigo.....	42
Figura 11. Información de área de control.....	43
Figura 12. Mapa cultivo de trigo en Baja California	45
Figura 13. Mapa cultivo de uva en Baja California	46
Figura 14. Mapa cultivo de algodón en Baja California.....	47
Figura 15. Mapa cerveza artesanal en Mexicali, B.C.....	48
Figura 16. Paja de trigo.....	51
Figura 17. Vara de algodón	54
Figura 18. Bagazo de cebada cervecero.....	56
Figura 19. Podas de vid	58
Figura 20. Edición de propiedades de columna	61
Figura 21. Tabla de atributos	62
Figura 22. Herramienta Project.....	63
Figura 23. Diseño de polígonos	64
Figura 24. Herramienta “Mapa”	65
Figura 25. Configuración de contenido	66

Figura 26. Configuración de ventana emergente para: a) paja de trigo, vara de algodón y vara de uva, b) bagazo de cebada cervecero	67
Figura 27. Plantillas disponibles para mapas web.....	68
Figura 28. Metros cúbicos de bioetanol a partir de vara de algodón	70
Figura 29. Metros cúbicos de bioetanol a partir de bagazo cervecero.....	71
Figura 30. Metros cúbicos de bioetanol a partir de paja de trigo.....	72
Figura 31. Producción de energía en PJ a partir de vara de algodón.....	74
Figura 32. Producción de energía en PJ a partir de podas de vid	76
Figura 33. Potencial de energía en PJ a partir de paja de trigo.....	77
Figura 34. Toneladas de ladrillo con 2.5% de bagazo cervecero	80
Figura 35. Toneladas de madera plástica con 30% de paja de trigo	81
Figura 36. Toneladas de madera plástica con 60% de paja de trigo	82
Figura 37. Toneladas de cemento con 4.77% de vara de algodón.....	83
Figura 38. Toneladas de cemento con 10% de cenizas de vara de algodón	84
Figura 39. Toneladas de tableros con 25% de podas de vid	85
Figura 40. Toneladas de tablas con 50% de podas de vid.....	86
Figura 41. Toneladas de alimento con 15% de paja de trigo	89
Figura 42. Toneladas de alimento con 70% de paja de trigo	90
Figura 43. Mapa de potencial energético en aplicación web	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de biomasa residual.....	18
Tabla 2. Descripción y ejemplos de aplicaciones de biomasa residual.....	18
Tabla 3. Escala de valores en el modelo AHP.....	22
Tabla 4. Equipos más utilizados en la disminución de partícula.....	24
Tabla 5. Parámetros operativos.....	26
Tabla 6. Consideraciones para la elección de secadores.....	26
Tabla 7. Análisis próximo.....	49
Tabla 8. Análisis químico.....	49
Tabla 9. Análisis último.....	50
Tabla 10. Distribución de partícula de paja de trigo.....	52
Tabla 11. Generación de bagazo cervecero en 2015.....	56
Tabla 12. Resumen datos de biomasa.....	59
Tabla 13. Potencial energético de biomasa residual.....	78
Tabla 14. Biomasa residual como materia prima para productos no energéticos.....	87

RESUMEN

Baja California es una de las entidades con mayor dinamismo económico, mejor nivel de bienestar social, crecimiento poblacional y una región de importante actividad agrícola, ubicándose dentro de los primeros lugares a nivel nacional. Estas actividades tienen como resultado una mayor demanda de energía y mayor generación de biomasa residual.

Durante los últimos años, el interés por la biomasa residual ha ido en aumento, debido a que, nuevos desarrollos tecnológicos permiten que se utilicen como materias primas en la producción de energía y en la obtención de productos no energéticos.

La biomasa residual puede ser clasificada de diferentes formas dependiendo de su naturaleza o aplicaciones tales como residuos forestales, residuos agropecuarios, residuos industriales y residuos urbanos. El aprovechamiento de la biomasa residual tiene valor económico, social y ambiental, ya que puede ser empleada como combustible, reduciendo la emisión de gases de efecto invernadero, substituyendo los combustibles fósiles. Además, puede ser utilizada como alimento para rumiantes y como materia prima en la elaboración de material de construcción, evitando así su quema *in situ* para deshacerse de este residuo.

Es por ello que, en esta investigación se desarrolló una herramienta digital que brinda información sobre la biomasa residual generada en Baja California para su transformación en productos energéticos y no energéticos, mediante una metodología basada en una evaluación multicriterio, implementada con Sistemas de Información Geográfica, la cual proporciona mapas de las zonas de mayor aptitud para el mayor aprovechamiento de biomasa residual.

Se estimó que Baja California tiene un potencial para producir 395,179.44 m³ de bioetanol a partir de paja de trigo, vara de algodón y bagazo de cebada cervecero, así como 6.07 PJ de energía mediante torrefacción a partir de paja de trigo, vara de algodón y podas de vid. También, se determinó que se pueden obtener 12,068,698.29 toneladas de materia prima a partir paja de trigo, vara de algodón, bagazo de cebada cervecero y podas de vid, para la elaboración de material de construcción como madera plástica, tableros, cemento y ladrillo. Para el caso de biomasa como alimento para rumiantes, se estimó una generación de 1,616,668.43 a 7,544,452.67 toneladas de alimento a partir de paja de trigo.

ABSTRACT

Baja California is one of the entities with the utmost economic dynamism, the best level of social welfare, population growth, and a region with important agricultural activity, ranking among the first places at the national level. These activities result in a higher demand for energy and a higher generation of residual biomass.

In recent years, interest in residual biomass has been increasing due to new technological developments that allow it to be used as a raw material in energy production and obtain non-energy products.

Residual biomass can be classified in different ways depending on its nature or applications, such as forest residues, agricultural residues, industrial residues, and urban residues. The use of residual biomass has economic, social, and environmental value, since it can be used as fuel, reducing greenhouse gas emissions, replacing fossil fuels. In addition, it can be used to feed ruminants and as a raw material in the production of construction material, thus avoiding its burning *in situ* to dispose of this residue.

That is why, in this investigation, a digital tool was developed that provides information on the residual biomass generated in Baja California, for its transformation into energy and non-energy products, through a methodology based on a multicriteria evaluation, implemented with Geographic Information Systems, which provides maps of the most suitable areas for greater use of residual biomass.

It was estimated that Baja California has the potential to produce 395,179.44 m³ of bioethanol from wheat straw, cotton stalk, and brewing barley bagasse, as well as 6.07 PJ of energy through torrefaction from wheat straw, cotton stalk, and vine pruning. Also, it was determined that 12,068,698.29 tons of raw material can be obtained from wheat straw, cotton stalk, brewing barley bagasse, and vine pruning to produce construction material such as plastic wood, boards, cement, and brick. For biomass as feed for ruminants, was estimated a generation of 1,616,668.43 to 7,544,452.67 tons of feed from wheat straw.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La biomasa es toda aquella fracción biodegradable proveniente de la actividad agrícola, pecuaria, silvícola, residuos industriales y municipales, entre otras [1].

Tradicionalmente, la biomasa residual proveniente de la actividad agrícola es quemada a cielo abierto, con la finalidad de preparar las tierras para la siguiente cosecha. Dicha práctica afecta la calidad del aire, daña la biodiversidad, empobrece los nutrientes del suelo, aumenta la probabilidad de erosión, disminuye la humedad del suelo y, además, se le atribuye cerca del 40% de incendios forestales en el país [2].

En México se ha intentado reducir la quema agrícola, impulsando iniciativas y normas con el objetivo de regular y dar a conocer procedimientos legales y técnicos para una quema controlada [2]. Como resultado, de 2019 al 2020, se logró reducir cerca del 25% de las quemas agrícolas en 7 entidades del país [3].

La biomasa residual es un recurso que se puede valorizar y utilizar como materia prima para la generación de energía, alimento para rumiantes o material de construcción, entre otros.

El sector energético es uno de los factores claves para el desarrollo de México. Un gran porcentaje del sector energético proviene del uso de combustibles fósiles, provocando efectos negativos en el ambiente, tal es así que, para el 2019 la industria de la energía, el sector transporte y la fabricación de combustibles aportaron más del 71% de CO₂ equivalente de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en México [4]. A pesar de que ha disminuido el porcentaje de importación de energía, por quinto año consecutivo, México sigue dependiendo de las importaciones de energía para satisfacer su demanda energética [5].

La utilización de la biomasa residual como alimento o suplementación para rumiantes tiene como finalidad principal el preparar las tierras para el siguiente ciclo agrícola. Además, presenta una ventaja económica para los criadores de rumiantes, ya que el utilizar residuos biomásicos para alimentar a los rumiantes representa una ayuda económica cuando el alimento sube de precio. A pesar de que la biomasa residual constituye una fuente de fibra para el rumiante, la cantidad utilizada en la alimentación no suele rebasar el 30% [6].

Además, en la búsqueda de materia prima que aporte mejores propiedades que los materiales de construcción convencionales, la utilización de biomasa residual ha dado buenos resultados como componente en materiales reforzados, cubriendo una alta gama de propiedades [7].

En el aprovechamiento de la biomasa residual es importante contar con herramientas digitales para facilitar el análisis, gestión y planificación de proyectos. Además, que proporcione información oportuna, organizada y necesaria para mejorar la toma de decisiones. Por lo que en el presente trabajo se desarrolló una herramienta digital que brinda información sobre la biomasa residual generada en Baja California para su transformación en productos energéticos, mediante una metodología basada en una evaluación multicriterio, implementada con Sistemas de Información Geográfica.

JUSTIFICACIÓN

La biomasa es la única fuente de materia renovable con la capacidad de ser transformada mediante diversos procesos tecnológicos, en combustibles en estado sólido, líquido y gaseoso [1], brindándole ventaja sobre las demás fuentes de energía renovables.

Además del uso energético de la biomasa, también es utilizada como fertilizante para preparar la tierra para la próxima cosecha, sin embargo, la mayoría de los residuos biomásicos necesitan pasar por un proceso mecánico para disminuir su tamaño de partícula y poder ser esparcida, lo que implica consumo de energía y emisiones de dióxido de carbono. Para brindar soluciones al manejo de los residuos biomásicos, en los últimos años se ha utilizado como materia prima en la elaboración de material de construcción, los cuales presentan características similares a los materiales tradicionales a un precio considerablemente menor [8].

Asimismo, la biomasa ha sido utilizada como alimento para rumiantes, aprovechando su alto contenido de fibra. Para mejorar la digestibilidad de la biomasa se han utilizado diferentes métodos que involucran agentes biológicos para degradar la lignina presente en la biomasa [6].

Entre las razones que justifican la realización de este proyecto se encuentran:

- No se cuenta con información de usos de biomasa residual en Baja California.
- El uso de EMC permite la obtención de zonas que presentan mayor aptitud para el aprovechamiento de biomasa residual.
- No hay herramientas tecnológicas que muestren información actualizada sobre la generación de residuos biomásicos en Baja California.
- Se presenta información de forma digital sobre usos potenciales energéticos de la biomasa residual en Baja California.
- La herramienta digital contribuye a un mejor análisis, gestión y planeación para el aprovechamiento de la biomasa residual mediante datos espaciales y geográficos.

En esta investigación se desarrolló una herramienta digital que brinda información sobre la biomasa residual generada en Baja California para su transformación en productos energéticos, mediante una metodología basada en una evaluación multicriterio (EMC), implementada con Sistemas de Información Geográfica (SIG). Asimismo, se utilizó información de investigaciones realizadas en la Universidad

Autónoma de Baja California y de otras instituciones. Esta herramienta proporciona mapas de las zonas donde se muestra la superficie total sembrada del cultivo en el Estado, superficie sembrada del cultivo en el polígono seleccionado y el potencial de producción de energía en el Estado y en el polígono seleccionado según el cultivo. Además, en esta investigación se realizó una evaluación de los usos no energéticos para los residuos generados en Baja California.

Con los resultados obtenidos de esta investigación, se facilitará la identificación y el análisis de las áreas con aptitud para la transformación de biomasa residual en productos energéticos y no energéticos.

OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una herramienta digital que brinde información sobre la generación de biomasa residual en Baja California, así como, el potencial energético y no energético, mediante una metodología basada en evaluación multicriterio, apoyada en Sistemas de Información Geográfica.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Estimar la generación de biomasa residual agrícola en Baja California.
- Identificar espacialmente la biomasa residual mediante la utilización de sistemas de información geográfica en Baja California.
- Identificar tecnologías, aplicaciones y/o procesos más adecuados para el aprovechamiento de biomasa residual.
- Estimar el potencial energético y no energético de la biomasa residual en Baja California.
- Estructurar bases de datos utilizando Sistemas de Información Geográfica.
- Diseñar una herramienta digital que permita posicionar la biomasa residual en Baja California a partir de las bases de datos geográficas y mostrar el potencial de aprovechamiento según la aplicación.

HIPÓTESIS

La integración de la evaluación multicriterio y los sistemas de información geográfica permitirán el desarrollo de una herramienta digital que sirva como apoyo para el aprovechamiento de la biomasa residual generada en Baja California.

ANTECEDENTES

Herramientas tecnológicas

Las herramientas tecnológicas son un conjunto de programas informáticos que tiene como objetivo facilitar la realización de una tarea en un dispositivo tecnológico. Estas herramientas pueden contener todo tipo de información según el alcance que se desea lograr con la misma [9].

En España existe BIONLINE, el cual es un programa que muestra la evaluación del potencial de biomasa, basándose en el origen, mercado energético, costos estimados de producción y disposición en el mercado. Además, cuantifica la biomasa de origen forestal y agrícola del área geográfica elegida por el usuario, sin embargo, esta herramienta se encuentra en mantenimiento desde el 2020 sin que se pueda acceder a la misma [10].

Asimismo, en España el Centro de Desarrollo de Energías Renovables ha desarrollado BIORAISE, la cual es una herramienta que permite calcular los recursos de biomasa en toneladas de materia seca al año o en valor de contenido energético a partir del valor de la humedad del residuo biomásico, sin embargo, la herramienta se limita a España, Portugal, Francia, Italia y Grecia [11].

En Colombia se realizó un Atlas del potencial energético de la biomasa residual, el cual consiste en 52 mapas de las zonas de producción, área cultivada, cantidad de biomasa residual generada, potencial energético y rendimiento neto de energía. Estos mapas presentan información anual a nivel municipal y los datos mostrados son de manera global para todo el sector y de manera individual para arroz, maíz, banano, café, caña de azúcar, caña panelera, palma de aceite y plátano. Cabe mencionar que los mapas no permiten la interacción de forma digital [12].

En México se cuenta con el Atlas Nacional de Biomasa (ANBIO), el cual es una herramienta tecnológica, que contiene información sobre los sitios o áreas geográficas con recursos potenciales de biomasa a nivel nacional, facilitando información sobre el potencial de proyectos relacionados con las energías renovables y limpias, particularmente de la biomasa. La herramienta tiene como finalidad el poder ubicar espacialmente las principales fuentes generadoras de biomasa que puede ser utilizada con fines energéticos [13]. A pesar de que aún se puede ingresar a la herramienta, no presenta información sobre residuos agrícolas, aunado a ello, la última actualización de la información fue en 2013.

Para el 2020 la UNAM-México y los países pertenecientes al Sistema de la Integración Centroamericana, desarrollaron una herramienta con el objetivo de evaluar, geoespacialmente, el potencial energético de los recursos biomásicos, sirviendo como apoyo en la planeación bioenergética a través de una herramienta de fácil uso, impulsando el sector energético tradicional y el moderno [14]. La herramienta muestra la biomasa aprovechable, así como su equivalente energético estimado, sin embargo, la información solo se presenta para República Dominicana, El Salvador, Honduras, Belice, Costa Rica, Guatemala, Nicaragua, Panamá y Haití.

A pesar de que dichas herramientas exhiben el potencial energético, no aclaran si esa estimación está basada en haber transformado la biomasa en energía mediante procesos tecnológicos.

Sector energético en México

El sector energético en México juega un papel importante para el desarrollo económico y social, sin embargo, ha presentado pocos cambios importantes a través del tiempo. La energía primaria y la generación de energía secundaria provienen, en su mayoría, de fuentes energéticas no renovables tales como petrolíferos, carbón y gas natural [15].

En México, las fuentes de energía primaria son el petróleo, condensados, gas natural, nuclear, carbón, gas natural, hidroenergía, geoenergía, eoloenergía, solar y bioenergía, siendo el bagazo de caña y leña considerados como biomasa. De acuerdo con el Balance Nacional de Energía, la producción de energía primaria disminuyó un 2.4% en el 2019, por lo que México aún depende de las importaciones de energía para satisfacer su demanda energética [5].

A pesar de que el petróleo y sus derivados han impulsado a la industria y han contribuido a financiar una parte importante del desarrollo económico y social, también han contribuido en las emisiones de GEI, tal que para el 2019, más del 71% de CO₂ equivalente de dichas emisiones, fueron causadas por la industria energética [4]. Además, el precio internacional del petróleo, derivados y productos se ha mantenido al alza en los últimos años y se espera que siga en aumento conforme disminuyan los yacimientos en el mundo [15].

Biomasa

La biomasa es toda aquella materia orgánica no fósil la cual contiene energía química intrínseca [16]. Hasta mediados del siglo XIX, fue la mayor fuente de consumo de energía en Estados Unidos [17]. Actualmente, es utilizada en países en desarrollo principalmente para cocinar alimentos y como fuente de calor [17], siendo la madera la mayor fuente de energía biomásica [18]. En 2019, se reportó una producción total de energía a partir de biomasa de 5.38 EJ a nivel mundial, donde el 45.69% provino de la madera, 45.64% de biocombustibles y 8.67% de desechos animales y vegetales [19]. Para el mismo año, se reportó un consumo de energía de 11.96 EJ, de los cuales el consumo de energía a partir de biomasa representó un 43.45% [19].

Para el caso de México, la biomasa representa el 5.70% en la producción de energía primaria, en la cual únicamente se considera la leña y el bagazo de caña con 3.91% y 1.79%, respectivamente (ver Figura 1) [5].

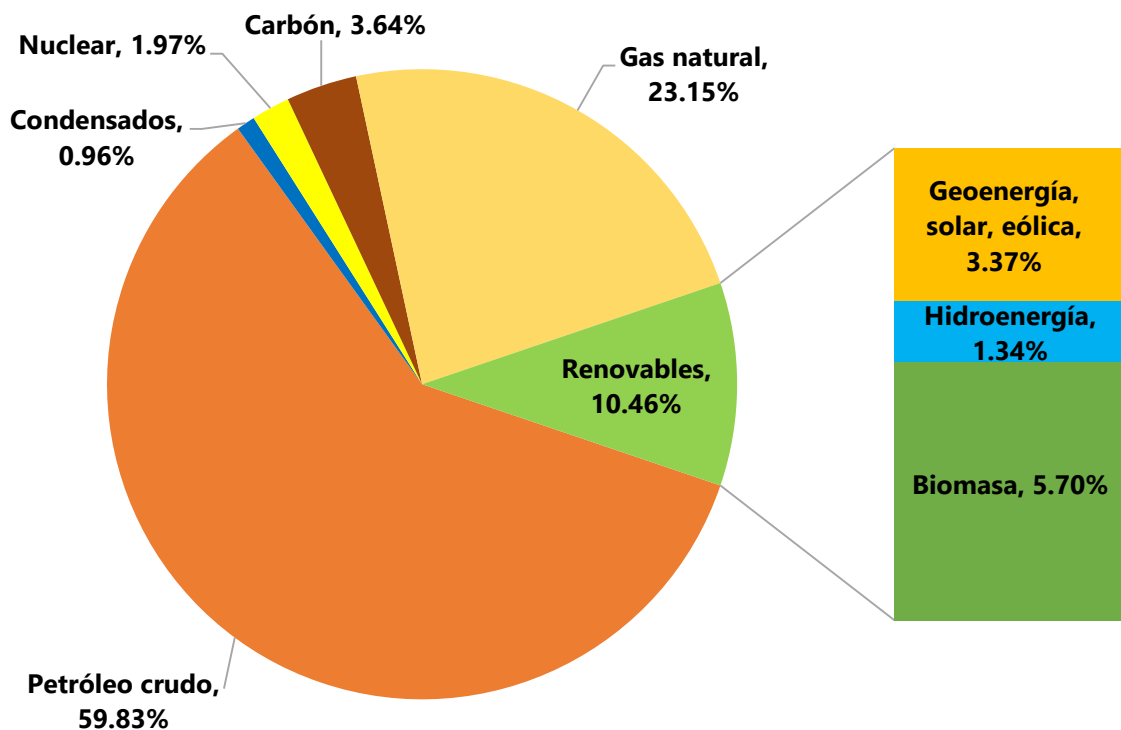


Figura 1. Estructura de la producción de energía primaria en México, 2019

En los últimos años, la Secretaría de Energía (SENER) ha detectado la necesidad de incluir más fuentes renovables para la generación de energía, entre ellas la biomasa residual.

La biomasa residual es la biomasa proveniente de la actividad agrícola, pecuaria, silvícola, residuos industriales y municipales. La biomasa residual puede ser clasificada de diferentes formas dependiendo de su naturaleza o aplicaciones. En la Tabla 1 [20] se describe una clasificación de biomasa residual en 4 categorías: residuos forestales, residuos agropecuarios, residuos industriales y residuos urbanos.

Tabla 1. Clasificación de biomasa residual

Clasificación	Tipo de residuo
Residuos forestales	Restos de aserrín, cosechas, podas
Residuos agropecuarios	Estiércol, tallos, hojas, cáscaras, maleza, pastura
Residuos industriales	Pulpa y cáscara de frutas y vegetales, procesamiento de carnes, aguas de lavado de carnes y vegetales, grasas y aceites vegetales
Residuos urbanos	Aguas negras, desechos domésticos orgánicos, basura orgánica

En la actualidad, se puede destacar el uso de biomasa residual en las biorrefinerías, así como para la generación de bioproductos y biocombustibles, los cuales se resumen en la Tabla 2 [21].

Tabla 2. Descripción y ejemplos de aplicaciones de biomasa residual

Uso	Descripción	Ejemplos
Bioproductos	Bienes provenientes del procesamiento de biomasa que no es considerada alimento	Farmacéuticos, químicos, aceites industriales, fibras, entre otros
Biocombustibles	Combustibles generados directa o indirectamente de biomasa	Electricidad, gas, carbón, biogás,

		bioetanol, biodiesel, entre otros
Biorrefinerías	Procesamiento sostenible de biomasa en un espectro de productos comercializables y energía	Bioquímicos, biofertilizantes, bionutrientes, biogás, biodiesel, entre otros

Para determinar la tecnología adecuada para la conversión de biomasa en energía, es importante determinar las características y propiedades principales de la biomasa [22]. Una de las propiedades principales a considerar en la transformación de biomasa en energía es el poder calorífico, el cual es considerado el parámetro más importante, y se define como la cantidad de calor generado por la combustión completa de una masa unitaria del material en condiciones estándar, 1 atm y 25 °C [23].

Análisis próximo

El análisis próximo es el método de prueba estándar para evaluar propiedades de combustibles sólidos, debido a que permite identificar la fracción de la biomasa en la que se encuentra almacenada su energía química (material volátil y carbono fijo) y la fracción inerte (humedad y cenizas) [24].

El contenido de humedad de la biomasa es la pérdida de peso observada cuando se seca en condiciones estándar. La ceniza es el residuo orgánico que queda después de quemar la biomasa en condiciones estándar. El material volátil es la pérdida de peso de la biomasa en forma de vapores y gases cuando se calienta en ausencia de aire en condiciones prescritas. El contenido de carbono fijo se estima restando el porcentaje total del contenido de humedad, material volátil y cenizas [25]. La relación entre el porcentaje de material volátil y el porcentaje de carbono fijo en la biomasa indica la facilidad con la cual se produce su ignición [24].

Análisis último

Mediante el análisis último se determina el porcentaje de los compuestos con mayor presencia en la estructura molecular de la biomasa, como son el carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N) y azufre (S) [2], los cuales, se gasifican y aportan energía en las reacciones de combustión [26].

Análisis químico

La biomasa está compuesta principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina. Como componentes minoritarios se encuentra la humedad, la materia inorgánica no extraíble y los extraíbles. El análisis químico de la biomasa es importante para el desarrollo de procesos para la producción de biocombustibles y productos químicos, así como en el estudio de fenómenos de combustión [26].

Los compuestos extraíbles tienen como función principal el actuar como intermediarios en procesos metabólicos, mecanismos de defensa y reserva de energía.

Fuentes de generación de biomasa residual en Baja California

Baja California es una de las entidades con mayor dinamismo económico, mejor nivel de bienestar social, crecimiento poblacional y una región de importante actividad agrícola ubicándose dentro de los primeros lugares a nivel nacional [27]. Estas actividades tienen como resultado una mayor demanda de energía, diversos problemas de calidad de aire y suelo, así como la generación de residuos los cuales no son tratados apropiadamente.

Para el caso específico de las clasificaciones de biomasa residual se describen las posibles fuentes de generación de biomasa residual en Baja California (ver Figura 2) [28-31].

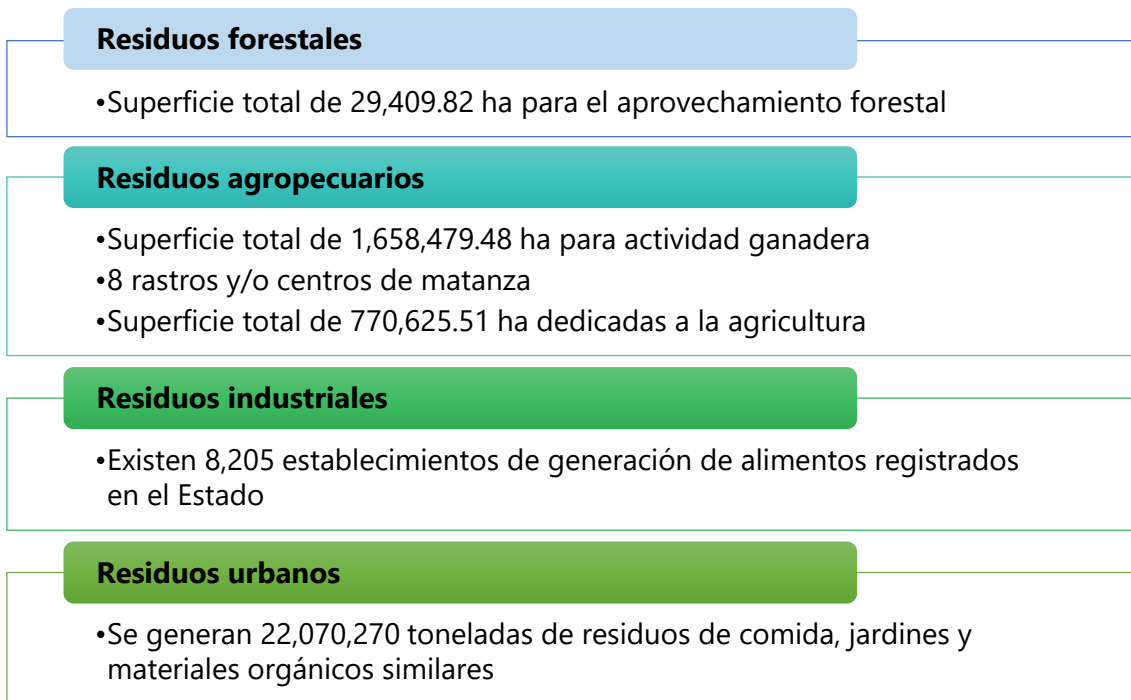


Figura 2. Fuentes de generación de biomasa residual en Baja California

Evaluación Multicriterio (EMC)

La evaluación multicriterio se basa en la ponderación y compensación de multivariabes, ya sean determinantes o factores de aptitud, orientada a la toma de decisiones a partir de criterios comunes. La toma de decisiones implica la comparación entre alternativas para la obtención de respuesta ante alguna problemática. Para ello, es necesario definir los elementos que la componen, permitiendo una comparación entre ellos y obtener resultados a partir de la información de los elementos [22]. La Figura 3 ilustra el diagrama del proceso general de la EMC.



Figura 3. Diagrama del proceso general de la EMC

La definición de elementos es importante debido a que, son los indicadores del proceso de la EMC. Están compuestos por objetivos, criterios, juicios de valor, actores involucrados y alternativas. El proceso está constituido por la técnica de EMC elegida, según las características de los elementos. El resultado es la decisión sobre la selección de una alternativa [27].

Existe una variedad de técnicas de EMC, dichas técnicas admiten diferentes clasificaciones basadas en: a) el tipo de variables empleadas, b) el resultado de la evaluación, c) la disponibilidad de información y d) la posibilidad de integración con otras herramientas de planificación. Los métodos más empleados y algunas de sus ventajas se presentan a continuación.

Metodología de ponderados simple

La metodología consiste en el ordenamiento de menor a mayor importancia, en el cual, el decisor es el que determina su valor. Si el decisor considera que dos criterios o elementos son de igual importancia, a cada uno de ellos se le asigna el promedio de ambas valoraciones, obteniendo al final, la ponderación para cada criterio mediante la suma de los valores asignados previamente. Esta metodología es empleada cuando se tiene poca información sobre los criterios o elementos considerados [32].

Proceso analítico jerárquico (AHP)

El proceso analítico jerárquico utiliza escalas de prioridades, es decir, se da preferencia a un elemento sobre otro, apoyándose en una escala de 1 a 9, en donde se comparan los criterios o elementos. En la Tabla 3 se aprecia la definición de cada uno de los valores.

Tabla 3. Escala de valores en el modelo AHP

Importancia	Definición
1	Igual de importancia
2	Ligera importancia
3	Moderada importancia
4	Más que moderada

5	Fuerte importancia
6	Más que fuerte
7	Muy fuerte o importancia demostrada
8	Muy, muy fuerte
9	Extrema importancia

- Metodología de ponderados simples: simplicidad de uso e interpretación.
- Proceso analítico jerárquico: combina variables cualitativas y cuantitativas y la posibilidad de comparación de criterios por su importancia relativa.
- Técnicas multiobjetivo o mínima distancia: brindan la posibilidad de incluir objetivos que pueden ser contrapuestos.

Sistemas de Información Geográfica

Un sistema de información geográfica (SIG) es un sistema empleado para describir y categorizar la tierra y otras geografías con el objetivo de mostrar y analizar información a la que se hace referencia espacialmente. El objetivo de SIG consiste en crear, compartir y aplicar útiles productos de información basada en mapas que respaldan el trabajo de las organizaciones, así como crear y administrar la información geográfica pertinente [33].

El SIG permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, y facilitando la posibilidad de relacionar la información existente para la obtención de resultados [34].

La EMC en conjunto con los SIG permite la obtención de mapas que expresan la evolución potencial para cada clasificación de biomasa residual. Estos métodos están basados en la teoría de la decisión para explicar y predecir el comportamiento de los agentes que toman la decisión y los indicadores económicos [35].

La integración de la EMC y los SIG genera una herramienta para asistir procesos de análisis espacial, a través de la construcción de mapas temáticos, derivados de bases de datos geográficas y territoriales, en especial para la asignación/localización de actividades productivas. Con ello se genera una serie de posibilidades de aplicación en SIG, pudiendo asistir de manera eficaz a procesos de planificación y ordenación

del territorio, o bien realizando operaciones de localización/asignación tomando en cuenta diversos criterios y múltiples objetivos [36].

Pretratamientos

Para el aprovechamiento de la biomasa residual en la obtención de productos energéticos y no energéticos, se aplican diferentes pretratamientos los cuales se describen a continuación.

Físico (molienda y/o astillado)

Consiste en reducir el tamaño de partícula de la biomasa, con el propósito de aumentar la superficie de contacto y mejorar la eficiencia del procesamiento de la biomasa [37]. Sin embargo, el requerimiento de energía del pretratamiento afecta el balance energético total de los procesos de conversión de biomasa, debido a que consume aproximadamente el 33% de energía eléctrica total [38].

La demanda de energía depende de especificaciones técnicas del equipo, el tamaño de partícula inicial y final y características de la biomasa, a saber, cantidad de procesamiento, composición y contenido de humedad [38]. Existen diversos equipos en el mercado para la reducción de partículas y sus especificaciones técnicas varían de acuerdo al porcentaje de humedad de la materia prima utilizada. En la Tabla 4, se incluyen los equipos más utilizados [39].

Tabla 4. Equipos más utilizados en la disminución de partícula

Equipo	% de humedad en biomasa	Tamaño final de partícula (mm)
Molino de dos rodillos		0.1 – 2
Molino de martillos	10 - 15	0.8 – 6.3
Molino de cuchillos		1.6 – 12.5
Molino coloidal o de discos húmedos	> 15	0.079 – 0.131

Los más utilizados debido al requerimiento energético en relación con el tamaño de partícula requerida y con un porcentaje de 10-15% (base húmeda) de contenido de humedad son: molino de dos rodillos, molino de martillos o molino de cuchillos, de los cuales, el molino de cuchillos es el que menor demanda energía [39].

Para la biomasa con contenido de humedad superior al 15–20% (base húmeda) generalmente se tritura con molino coloidal o de discos húmedos, siendo el molino de discos húmedos el más utilizado. En la actualidad, se han probado extrusores para disminuir el tamaño de partículas, ya que representa ventajas como tratamiento continuo, ajuste fácil y uso en aplicaciones a gran escala [39]. *Kratky et. al.* (2011) recomienda utilizar un equipo que combine una extrusora en su primera parte y un molino de discos húmedos en su segunda parte, mediante este equipo se disminuye el tamaño de partícula en un proceso continuo y la demanda de energía es menor en comparación con otras máquinas trituradoras en húmedo.

Secado

Como su nombre lo indica, el secado consiste en extraer agua de la biomasa (humedad 20–80%), con la finalidad de reducir el porcentaje de humedad para su posterior conversión en energía. Según el método de transferencia de calor, se puede dividir en tres categorías [40]: secado directo, secado indirecto y secado por radiación infrarroja. En el secado directo la biomasa entra en contacto directo con un fluido caliente, comúnmente aire del exterior calentando u otros agentes como gases de combustión o vapor sobrecalentado. En el secado indirecto la biomasa recibe el calor necesario al entrar en contacto con una superficie caliente, que es calentada, por lo general, por vapor sobrecalentado o gases de combustión a alta temperatura. En el secado por radiación infrarroja se transfiere más calor que en los dos anteriores, principalmente se utiliza para secar biomasa que son difíciles de secar y de esta forma, reducir el tiempo de secado.

Existen diferentes tipos de secadores que pueden ser adecuados para el propósito y su elección debe hacerse después de una cuidadosa consideración de los factores operativos y económicos específicos de la aplicación [40].

En la Tabla 5 y 6 se exponen parámetros operativos y consideraciones, respectivamente, para la elección de secadores [41].

Tabla 5. Parámetros operativos

Parámetro operativo	Equipo de secado		
	Giratorio	Flash	Cinta
Tasa de evaporación (t/h)	3 – 23	4.8 – 17	0.5 – 40
Temperatura de secado (°C)	200 – 600	150 – 280	30 – 200
Capacidad (t/h)	3 – 45	4.4 – 16	–
Humedad de entrada (%)	45 – 65	45 – 65	45 – 72
Descarga de humedad (%)	10 – 45	10 – 45	15 – 25
Humedad de salida (%)	–	12	25
Caída de presión (kPa)	2.5 – 3.7	7.5	0.5
Tamaño óptimo de partícula (mm)	19 – 50	–	–
Tamaño máximo de partícula (mm)	25 – 125	0.5 – 5	–
Requisito térmico (GJ/t evaporación)	3 – 4	2.7 – 2.8	1.26 – 2.5

Tabla 6. Consideraciones para la elección de secadores

Consideraciones	Equipo de secado		
	Giratorio	Flash	Cinta
Requerimiento de partícula pequeña	No	Si	No
Recuperación de calor	Difícil	Difícil	Fácil
Peligro de ignición	Alto	Medio	Bajo
Emisiones al aire	Medio	Alto	Bajo
Uso de vapor	Si	No	Si

La temperatura de secado depende del tiempo de retención y el tiempo de retención depende del contenido de humedad de la materia prima y del contenido de humedad deseado. Para la selección del equipo de secado es importante considerar riesgos de ignición de la biomasa a tratar [40].

Densificado

La densificación de la biomasa consiste en la compactación de las partículas sometidas a altas presiones [42]. Durante la densificación de la biomasa, las partículas se reorganizan para formar una masa muy compacta donde la mayoría de las partículas retienen sus propiedades. Las partículas se fuerzan entre sí y sufren deformación plástica y elástica, y finalmente una reducción significativa en el volumen a una presión más alta da como resultado que la densidad del gránulo alcance la densidad verdadera de los ingredientes componentes. Este proceso se implementa para disminuir los problemas generados debido a la baja densidad de los diferentes tipos de biomasa, el transporte y el almacenamiento [43].

El equipo para la densificación de la biomasa se puede clasificar en: prensa de pistón, prensa de tornillo, prensa de rodillos y prensa de pellets [44]:

- Prensa de pistón: consiste en aplicar presión mediante un pistón energizado (manual o hidráulico) de manera intermitente a la biomasa empaquetándola dentro de un cilindro.
- Prensa de tornillo: consiste en un tornillo giratorio de sección transversal, el cual es accionado por un mecanismo independiente al tornillo, empujando y comprimiendo la biomasa residual. Una prensa de tornillo con un calentador tiene la ventaja específica de mejorar la fusión de la lignina contenida en la biomasa, y esto actúa como un material aglutinante que mejora el proceso de fabricación de briquetas.
- Prensa de rodillos: la biomasa se suministra, de forma manual, a través de una tolva y se comprime parcialmente mediante un mecanismo de tornillo. La biomasa parcialmente comprimida se alimenta entre dos rodillos y se comprime aún más a un tamaño pequeño. La fuerza aplicada es menor en comparación con la prensa de pistón, por lo tanto, es más adecuada para el material con un tamaño de partícula más pequeño. El producto también es menos duradero.

- Prensa de pellets consiste en una matriz anular y un rodillo. La biomasa se comprime entre el rodillo y la matriz anular, la cual contiene una serie de perforaciones de tamaños predeterminados. La biomasa prensada se expulsa de estas perforaciones en forma de gránulos. Estos dispositivos son más adecuados para la producción en masa de pellets (200 kg/h hasta 8 t/h), sin embargo, la capacidad de la prensa de pellets no está restringida por la densidad de la materia prima, como es el caso de las prensas de pistón o tornillo. El consumo de energía suele oscilar entre 15 y 40 kWh/t.

La energía requerida en el uso de la prensa de pellets ha sido objeto de diferentes estudios. Algunos de ellos mostraron que la tasa de energía eléctrica utilizada está fuertemente correlacionada con el tipo de materia prima y las condiciones de procesamiento, como el tamaño de partícula de la biomasa y el contenido de humedad [45].

Autohidrólisis (LHW – Liquid Hot Water)

El proceso se lleva a cabo con agua caliente a temperaturas elevadas (160 °C - 240 °C) mientras se aplica una presión lo suficientemente alta como para mantener el agua en estado líquido. Después del pretratamiento, la suspensión formada se puede filtrar en una fracción sólida rica en celulosa y una fracción líquida rica en hemicelulosa [46].

Este proceso provoca alteraciones en la estructura de la lignocelulosa, principalmente a través de la eliminación de la hemicelulosa [46]. El proceso aumenta áreas de contacto, aumento del tamaño de poro y pérdidas de cristalinidad en la biomasa, dejándola susceptible a tratamientos posteriores, como la hidrólisis enzimática, produciendo soluciones ricas en azúcar que pueden usarse para fines de fermentación [47]. En la Figura 4 se ilustra una de las posibles rutas para el proceso de la autohidrólisis [48].

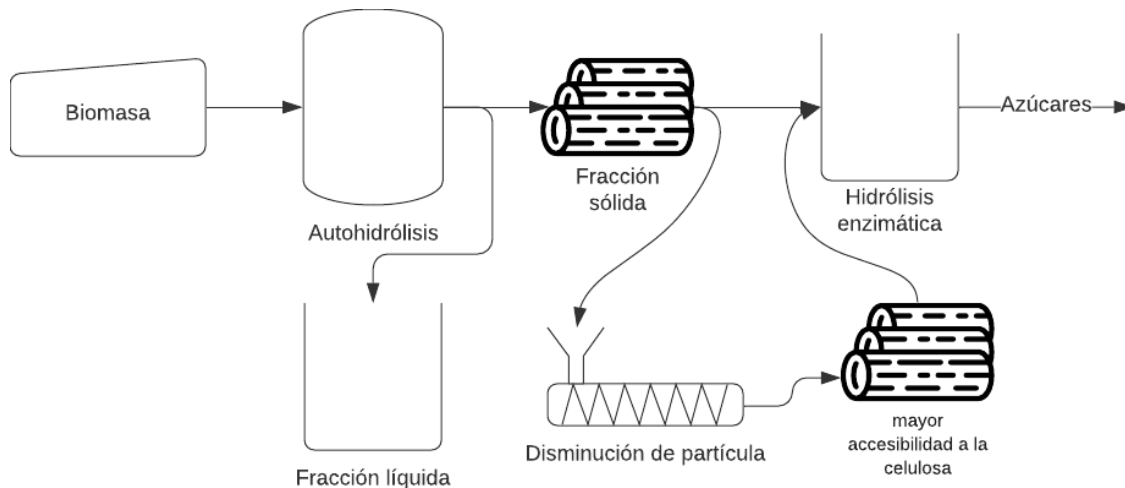


Figura 4. Proceso de autohidrólisis (adaptado de Dong Tiang *et. al*)

Los procesos de autohidrólisis se encuentran entre las tecnologías de fraccionamiento más prometedoras para las biorrefinerías a base de biomasa lignocelulósica. El proceso es atractivo porque no se deben agregar productos químicos, transmitiendo así los principios sostenibles de las biorrefinerías [47].

Explosión de vapor

En este método, la biomasa de tamaño reducido se calienta rápidamente con vapor (180 a 240 °C) a alta presión (1 a 3.5 MPa) durante un período de tiempo y luego la presión se reduce repentinamente, lo que hace que los materiales experimenten una descompresión explosiva. La eficiencia se ve afectada por varios factores, como la temperatura, el tiempo de residencia, el tamaño de partícula y el contenido de humedad [49].

La liberación repentina de presión desfibra los haces de celulosa, dando como resultado una mejor accesibilidad de la celulosa para un posible proceso de hidrólisis enzimática y fermentación. Dependiendo del tiempo de residencia y la temperatura, la explosión de vapor puede provocar desde pequeñas grietas en la estructura hasta la desfibrilación total de las fibras [49].

Se ha reportado que la explosión de vapor puede ser empleada para la fabricación de pellets, debido a que los ciclos de liberación de compresión en una prensa de pistón, son similares a las condiciones de explosión de vapor. Esto puede provocar

la desintegración de los pellets, pero también puede provocar la liberación de lignina y azúcares de las paredes celulares de la biomasa. Durante la producción de pellets, se aumenta el valor calorífico de la biomasa debido a la eliminación de la humedad y los volátiles y la degradación térmica de la hemicelulosa. El contenido de carbono de la biomasa aumenta, el oxígeno y el hidrógeno se eliminan de la biomasa. Asimismo, la biomasa se convierte en un material rígido y frágil y con propiedades similares al carbón [49].

Existe un método alternativo y eficiente, explosión de fibra de amoníaco (AFEX), es similar a la explosión de vapor con la única diferencia de usar amoníaco a pH <12 [50], crea una alteración fisicoquímica en la estructura ultra y macro lignocelulósica. Una ventaja de AFEX es que el amoníaco utilizado durante el proceso puede recuperarse y reutilizarse. Además, el procesamiento posterior es menos complejo en comparación con otros procesos de pretratamiento. Los estudios han demostrado que el pretratamiento AFEX aumenta la digestibilidad enzimática varias veces sobre la biomasa lignocelulósica no tratada [51].

Hidrólisis ácida – ácido sulfúrico (H_2SO_4)

Esta tecnología permite que la biomasa se convierta en azúcar de manera económica, proporcionando así una materia prima de bajo costo para la fermentación en etanol. En general, hay dos tipos de hidrólisis ácida: diluida y concentrada [52].

Los ácidos diluidos o de baja concentración (0.5–1% H_2SO_4) y temperaturas moderadas (140 – 190 °C) pueden eliminar la hemicelulosa, hasta casi el 100%, y recuperar eficazmente la mayor parte de azúcares disueltos. La hidrólisis ácida diluida consiste en dos reacciones químicas. Una reacción convierte los materiales celulósicos en azúcar y la otra convierte los azúcares en otros productos químicos, muchos de los cuales inhiben el crecimiento de microbios de fermentación. A pesar de la baja concentración de ácido y el corto tiempo de reacción, la aplicación de altas temperaturas en la hidrólisis de ácido diluido, acelera la velocidad de descomposición del azúcar en hemicelulosa y aumenta la corrosión del equipo [37].

La hidrólisis ácida concentrada (70% H_2SO_4) utiliza una temperatura baja y una presión baja. La tasa de recuperación de celulosa del proceso inicial de

pretratamiento y la tasa de conversión de celulosa a glucosa en este proceso son mucho más altas (90%) que con la hidrólisis ácida diluida. Tiene la ventaja de no utilizar enzimas para la sacarificación, sin embargo, conlleva un alto consumo de ácido y energía, corrosión del equipo y mayor tiempo de reacción, así como la obligación de recuperación de ácido después del tratamiento [37].

Para disminuir la degradación de los azúcares, se ha desarrollado un proceso de dos etapas en el que los azúcares de hemicelulosa se liberan en la primera etapa en condiciones más leves, seguida de la hidrólisis de la segunda etapa para el residuo sólido rico en celulosa realizado en condiciones más duras [37].

Alcalino

La biomasa se trata con bases diluidas a temperatura y presión baja, mejorando la digestibilidad de la celulosa, disminuyendo la degradación de azúcares, se puede llevar a cabo durante unos segundos o varios días. Proporciona una fracción de sacárido para producir combustibles líquidos y una corriente de lignina que se puede convertir en productos de alto valor [53]. Los hidróxidos de sodio, potasio, calcio y amonio son los más adecuados para este pretratamiento. La efectividad de este método depende del contenido de lignina de la biomasa. El pretratamiento alcalino puede mejorar en gran medida la digestibilidad de la celulosa y la degradación de los azúcares es menor que el tratamiento con ácido, sin embargo, la aplicación se ve obstaculizada por el alto costo de los álcalis [37]. Es posible recuperar y reutilizar muchos de los reactivos utilizados en el pretratamiento alcalino.

El pretratamiento con hidróxido de sodio (NaOH) es uno de los métodos más comunes y se ha estudiado ampliamente en la bioconversión de lignocelulosas. El tratamiento con NaOH es muy efectivo para aumentar la digestibilidad de la madera dura y los residuos agrícolas con un bajo contenido de lignina [53].

Para mejorar la digestibilidad de los residuos contenidos en la biomasa, un compuesto oxidante, como el peróxido de hidrógeno (H_2O_2) se usa en combinación con un alcalino (NaOH) y generalmente se lleva a cabo a temperatura moderada. Este tratamiento es más efectivo en comparación con el tratamiento con NaOH solo [37].

Oxidación húmeda

La biomasa se trata con agua y oxígeno o aire a alta presión (0.8 – 3.3 MPa) y temperatura elevada (> 120 °C), fraccionándola en hemicelulosa solubilizada y una fracción sólida rica en celulosa. Este pretratamiento permite el tratamiento directo de biomasa húmeda [37].

Se ha reportado que la reacción principal de la biomasa en condiciones de oxidación húmeda relativamente suaves (120-172 °C) fue la solubilización de la hemicelulosa y la solubilización parcial de la lignina. Por lo tanto, los productos de oxidación húmeda son una fracción líquida que contiene hemicelulosa disuelta y lignina y fracción sólida enriquecida en celulosa, pero que también contiene algo de lignina. Asimismo, hizo que la celulosa fuera más susceptible a la hidrólisis ácida a glucosa, un resultado importante si la fermentación a etanol es el producto final deseado para la conversión de biomasa. La eficiencia de la oxidación húmeda depende de: la presión, el oxígeno, tiempo de reacción y la temperatura [54].

Microorganismos

Se utilizan hongos de podredumbre parda, blanca y blanda que provocan degradación selectiva de la lignina y la hemicelulosa.

Los hongos adecuados para el pretratamiento biológico deben tener una mayor afinidad por la lignina y degradarla más rápido que los componentes de carbohidratos. Los subproductos producidos durante el pretratamiento biológico normalmente no inhibirán la hidrólisis posterior ya que el pretratamiento se lleva a cabo en condiciones suaves. Durante el pretratamiento biológico, la degradación eficiente de la lignina depende de las enzimas ligninolíticas producidas [54]. Los pretratamientos biológicos son seguros, respetuosos con el medio ambiente y requieren menos energía en comparación con otros métodos de pretratamiento. Sin embargo, la velocidad de reacción de hidrólisis es muy baja y necesita una gran mejora para ser comercialmente aplicable [37].

Actualmente se están investigando las alteraciones en la estructura, la química y la hidrólisis enzimática de la biomasa lignocelulósica después del pretratamiento biológico.

Tecnologías de conversión

Existen diversas tecnologías de conversión de biomasa a energía y la selección de dichas tecnologías dependen de diversos factores, como son: características fisicoquímicas y cantidad de biomasa disponible, impacto ambiental, beneficios económicos, aspectos sociopolíticos, entre otros [21, 55]. Las tecnologías de conversión se pueden clasificar, principalmente, en dos categorías. En la Figura 5 se enlistan las clasificaciones y subclasificaciones de las tecnologías de conversión [21].

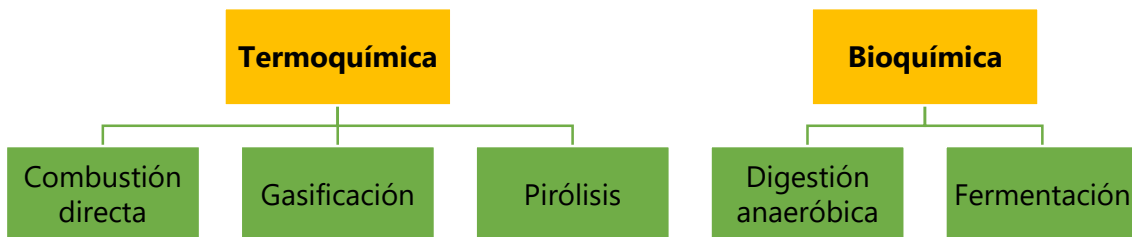


Figura 5. Tecnologías de conversión de biomasa en energía

Combustión directa

En el proceso de combustión directa, la biomasa es quemada al aire libre o en presencia de exceso de aire, liberando la energía química almacenada en la biomasa, dando lugar a dos tipos de productos: los gases, usados principalmente para la generación de energía eléctrica y los sólidos, las cenizas, compuestas por componentes no combustibles y por aquéllos del combustible que no fueron quemados en su totalidad durante el proceso [24, 56, 57]. Este proceso es adecuado para todo tipo de biomasa con bajo contenido de humedad (<50%). El costo de producción de energía de la combustión directa es mayor en comparación con la pirólisis y la gasificación debido a la necesidad de pretratar la biomasa [57].

Gasificación

El proceso de gasificación consiste en la conversión de biomasa en una fase gaseosa y una fase sólida. La fase gaseosa, llamada gas de síntesis, tiene un alto poder de calentamiento, el cual es usado para la generación de energía o la producción de

biocombustibles. La fase sólida, llamada carbón, es la fracción orgánica no convertida y el material inerte presente en la biomasa [58]. Esta conversión representa una oxidación parcial de la biomasa y se puede utilizar para producir un gas de síntesis con un poder calorífico menor de 6 MJ/m³ cuando se utiliza aire como agente oxidante y de 10-12 MJ/m³ si se utiliza oxígeno [24].

Pirólisis

En el proceso de pirólisis la biomasa se descompone térmicamente en ausencia de oxígeno o en un suministro limitado. En general, el proceso ocurre en un rango de temperaturas de 600 a 900 °C, tasas bajas de calentamiento y un alto periodo de residencia para obtener un mayor rendimiento de gas de síntesis enriquecido en hidrógeno. Las fracciones de los productos obtenidos están en función del modo en que se lleve a cabo el proceso y del tipo de combustible [51]. Las principales variables son velocidad de calentamiento, temperatura, tiempo de residencia y presión [24]. Las condiciones de operación de la pirólisis se clasifican en tres etapas diferentes: pirólisis lenta, pirólisis rápida y pirólisis instantánea [57].

Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica es un proceso biológico de descomposición orgánica en ausencia de aire, donde los microorganismos obtienen su oxígeno de la biomasa, atravesando fases de licuefacción, gasificación y mineralización, obteniéndose un producto inerte con liberación de gases compuestos principalmente por metano, dióxido de carbono, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno en menor proporción. Este proceso es recomendado y usado ampliamente para el tratamiento de residuos con alto contenido de humedad (80%-90%) [59].

Fermentación

La fermentación es un proceso utilizado comercialmente para producir etanol a partir de materia prima sacarosa, materiales almidonosos y biomasa lignocelulósica. Uno de los procesos más convencionales es el uso de levaduras para fermentar los almidones y convertir los azúcares en etanol [21]. El residuo sólido obtenido del

proceso puede utilizarse como alimento para el ganado o como combustible para calderas o para una posterior gasificación [26].

METODOLOGÍA

La metodología utilizada consistió en las siguientes etapas:

- Analizar necesidades de información en Baja California.
- Identificar fuentes de información en Baja California.
- Analizar sistemas de información geográfica que se adapten a la zona de estudio.
- Localizar geográficamente los cultivos y residuos estudiados, creando mapas bases para cada uno.
- Identificar procesos para el potencial energético y no energético de los residuos biomásicos y concentrar la información obtenida de las diferentes fuentes localizadas.
- Obtener mapas de potencial para cada residuo biomásico según el proceso elegido.
- Sistematizar la información de los mapas obtenidos para presentarla en una herramienta digital.
- Seleccionar la herramienta digital que se adecue a la información que se desea presentar.
- Crear mapas web de potencial energético utilizando la herramienta digital seleccionada.

Definición de elementos para la EMC

La definición de elementos permitió identificar los indicadores que afecten o aporten directamente en la selección de la mejor ruta de aprovechamiento de la biomasa en el Estado. En la Figura 6 se representan algunos de los elementos considerados importantes.

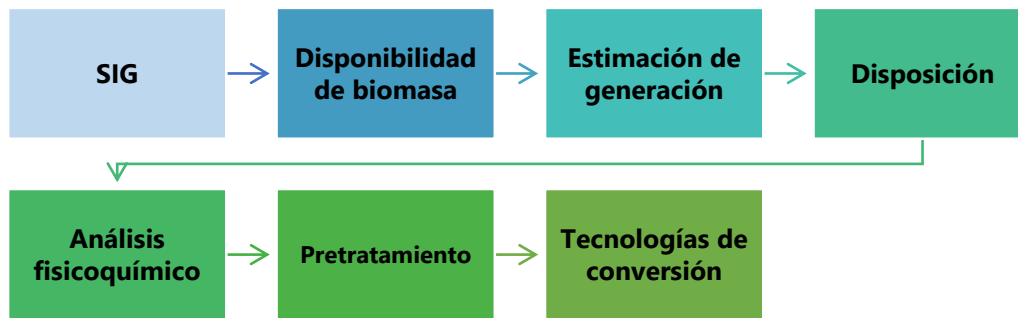


Figura 6. Definición de elementos

Sistemas de Información Geográfica

Para la geolocalización de potencial de residuos biomásicos y análisis de información se determinaron dos SIG.

ArcGIS®

Es una herramienta completa que permitirá modelar y organizar la información de manera geográfica e interactiva. Además, permitirá obtener nueva información de los resultados analíticos. La herramienta presenta diversas ventajas, las cuales se mencionan a continuación [33]:

- Crear, compartir y utilizar mapas inteligentes.
- Crear y administrar bases de datos geográficos.
- Compilar información geográfica.
- Análisis espacial para toma de decisiones.

Mapa Digital de México

La plataforma Mapa Digital de México (MDM) es un conjunto de herramientas informáticas que permiten la construcción, consulta, interpretación y análisis de la información geográfica y estadística georreferenciada. La ventaja de este SIG consta en la geolocalización de los resultados obtenidos del Marco Censal Agropecuario 2016, el cual permite conocer quién, dónde y qué se produce en México, en el que se actualizó información de los terrenos con actividad agropecuaria y forestal, obteniendo su principal cultivo, especie pecuaria o especie forestal [28].

Aunado a esto, también se analizarán bases de datos oficiales como el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) mediante su aplicación Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON), el cual presenta datos hasta el año 2018. Asimismo, del Sistema de Información Energética (SIE) de la Secretaría de Energía (SENER), el cual brinda información de las estadísticas energéticas nacionales.

Geolocalización de fuentes de biomasa

Para el análisis de generación de biomasa en el Estado, se geolocalizaron los cultivos de trigo, algodón y uva, así como los puntos de distribución y/o producción de cerveza artesanal, mediante el programa ArcGIS®. Para ello, se utilizó como base de información el Mapa Digital de México (MPM) en línea V6.3.0, en el cual se encuentra cargada información del Marco Censal Agropecuario 2016 para consulta. Asimismo, se utilizaron las capas de área de control del Marco Censal Agropecuario (MCA) proporcionado por el INEGI. El siguiente procedimiento se aplicó para todos los cultivos.

La información representada en las capas de área de control del MCA muestra las zonas con actividad agrícola general, debido a esto, la información estadística y, para algunos casos, la distribución espacial de los cultivos de trigo, algodón y uva, no coincide con la representada en el MCA del MPM en línea, por lo que fue necesario modificar las capas de área de control e ingresar información de forma manual a la tabla de atributos.

Se obtuvieron los mapas en formato imagen a partir del MPM en línea con el MCA cargado para cada uno de los cultivos, después se procedió a cargar la imagen en un proyecto de ArcMap de ArcGIS®. Para ello, fue necesario georreferenciarla al sistema de coordenadas de trabajo del servidor seleccionado, utilizando la herramienta Georreferenciación mediante puntos de control, la cual permite alinear la imagen a las entidades de origen y destino de un mapa. En la Figura 7 se observa el antes y el después de ingresar los puntos de control.

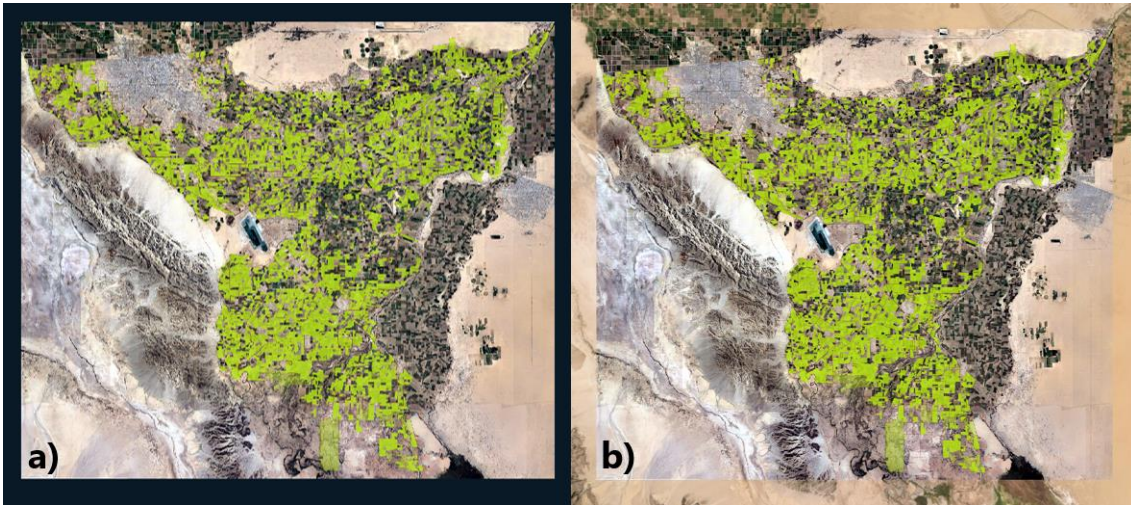


Figura 7. Mapa de trigo antes (a) y después (b) de georreferencias

Un archivo *shapefile* es un formato no topológico, que se utiliza para almacenar la ubicación geométrica y la información de atributos de las entidades geográficas, las cuales se pueden representar por medio de puntos, líneas o polígonos (áreas) [60].

Para obtener los *shapefile* de polígonos a partir de la imagen de mapa, primero se utilizó la herramienta de Análisis espacial para una clasificación supervisada y una clasificación sin supervisión. Esta herramienta permite crear un archivo de firma para identificar las clases y estadísticas de la imagen [61]. Al utilizarse ambos procesos, se observó que los mejores resultados se obtuvieron a partir de una clasificación sin supervisión con 7 capas (Figura 8), teniendo menos polígonos sin clasificar en el archivo *ráster*.

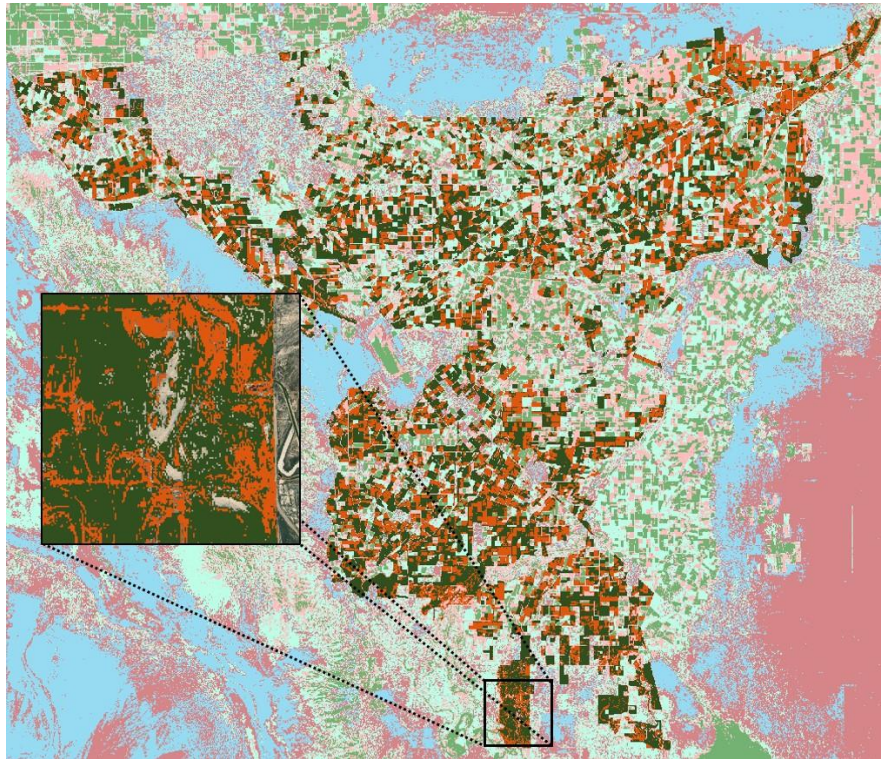


Figura 8. Análisis espacial con clasificación sin supervisión

Un archivo *ráster* contiene valores de datos multiespectrales en clases y asigna un valor categórico. Los *rásteres* de imágenes se utilizan como datos de origen para el análisis espacial y como atributos en tablas para visualizar datos geográficos y transmitir información adicional acerca de las entidades geográficas de mapas [62].

Como siguiente paso, se convirtió el archivo *ráster* a archivo *shapefile* de polígonos mediante la herramienta de Conversión de *ráster* a polígono, seleccionando previamente en la tabla de atributos del archivo *ráster* las capas que se desean convertir. Al *shapefile* resultante se le aplicó una unión de entidades vectoriales aisladas seguido de una separación de entidades para aislar los polígonos. Se puede observar el mapa resultante en la Figura 9.

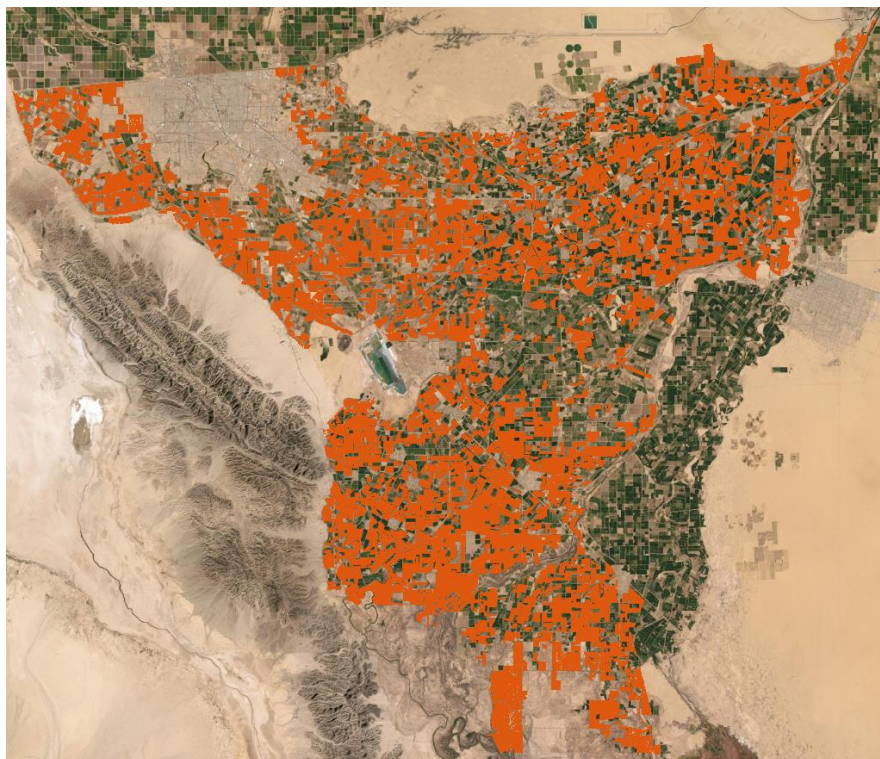


Figura 9. Shapefile de polígonos

Se agregó el *shapefile* de las capas de área de control del MCA al proyecto para identificar los *shapefile* que coincidieran con las áreas de cultivo, con la finalidad de unir la información a la tabla de atributos. Como se puede observar en la Figura 10, las líneas en color amarillo son los límites de las capas de área de control y, para el caso del trigo, la mayoría de estas capas no concordaban con las áreas de cultivos representados en color naranja. Se identificaron los polígonos incompletos que coincidían con las áreas de control y, para aquéllas que no, se crearon tomando en cuenta el mapa georreferenciado previamente. Al finalizar, se unieron los dos *shapefile* mediante la herramienta de unión de Geoprocesamiento, permitiendo también la unión de la información de la tabla de atributos.

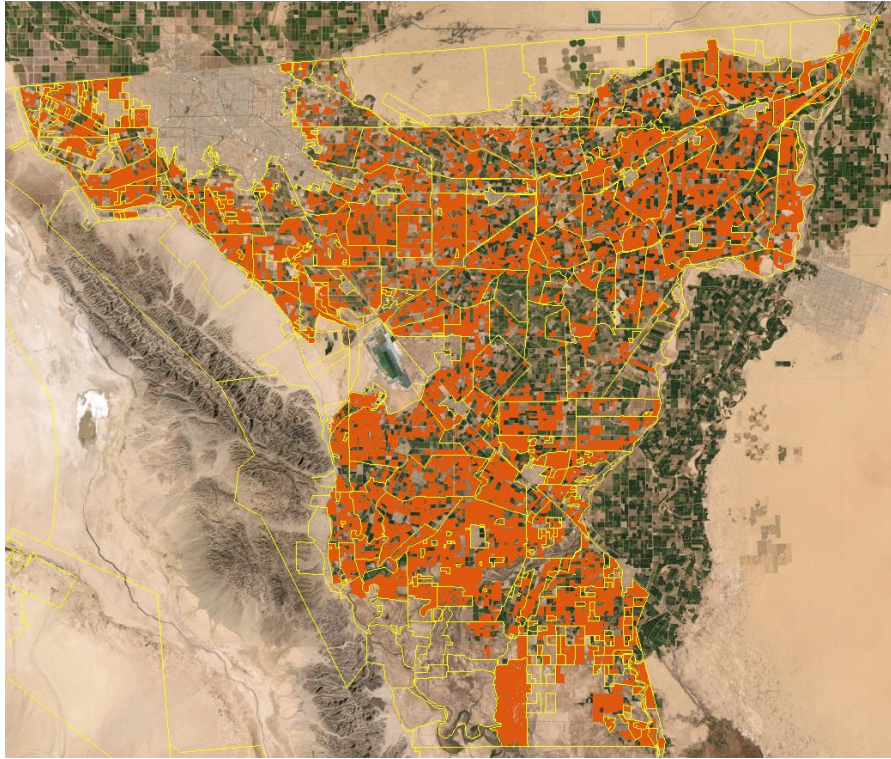


Figura 10. Áreas de control y cultivos de trigo

Para la tabla de atributos del mapa resultante, se añadió la información faltante. Dicha información se tomó del MPM en línea, la cual se despliega al momento de seleccionar la capa de área de control para cada cultivo, como se aprecia en la Figura 11.

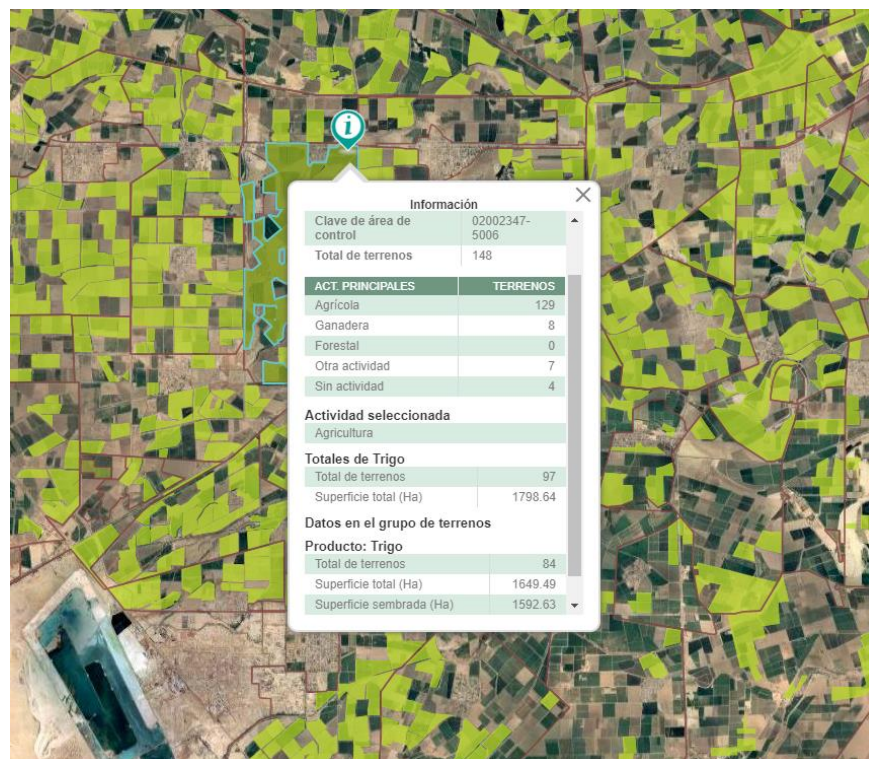


Figura 11. Información de área de control (fuente MPM en línea)

Para la tabla de atributos se consideró la clave de área de control, el total de terrenos contenidos en el área de control, total de terrenos y área dedicada al cultivo y la superficie sembrada reportada.

Para la geolocalización de los puntos de distribución y/o producción de cerveza artesanal, la información se tomó de la versión en línea del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) presentada en el MPM en línea. Al igual que los cultivos, el proyecto se realizó en ArcMap creándose un archivo *shapefile* de puntos, para los cuales se consideraron las coordenadas geográficas registradas en DENUE.

De acuerdo con el Marco Censal Agropecuario del INEGI, en 2016, las localidades pertenecientes a Mexicali con mayor superficie sembradas de trigo se encuentran en los ejidos Venustiano Carranza, Zacatecas, Pólvora y Miguel Alemán por lo que se espera un mayor potencial de productos energético y no energéticos en estas localidades. Asimismo, para el algodón, los ejidos con mayor superficie sembrada son Tabasco, Villahermosa, José María Morelos y Querétaro. En el caso de la uva, el

mayor número de hectáreas sembradas se encuentran en las localidades de San Vicente, San Jacinto y Francisco Zarco, pertenecientes al municipio de Ensenada.

A continuación, se presentan los mapas obtenidos, los cuales se consideraron como mapas bases para la geolocalización del potencial energético y no energético de la biomasa generada en Baja California.

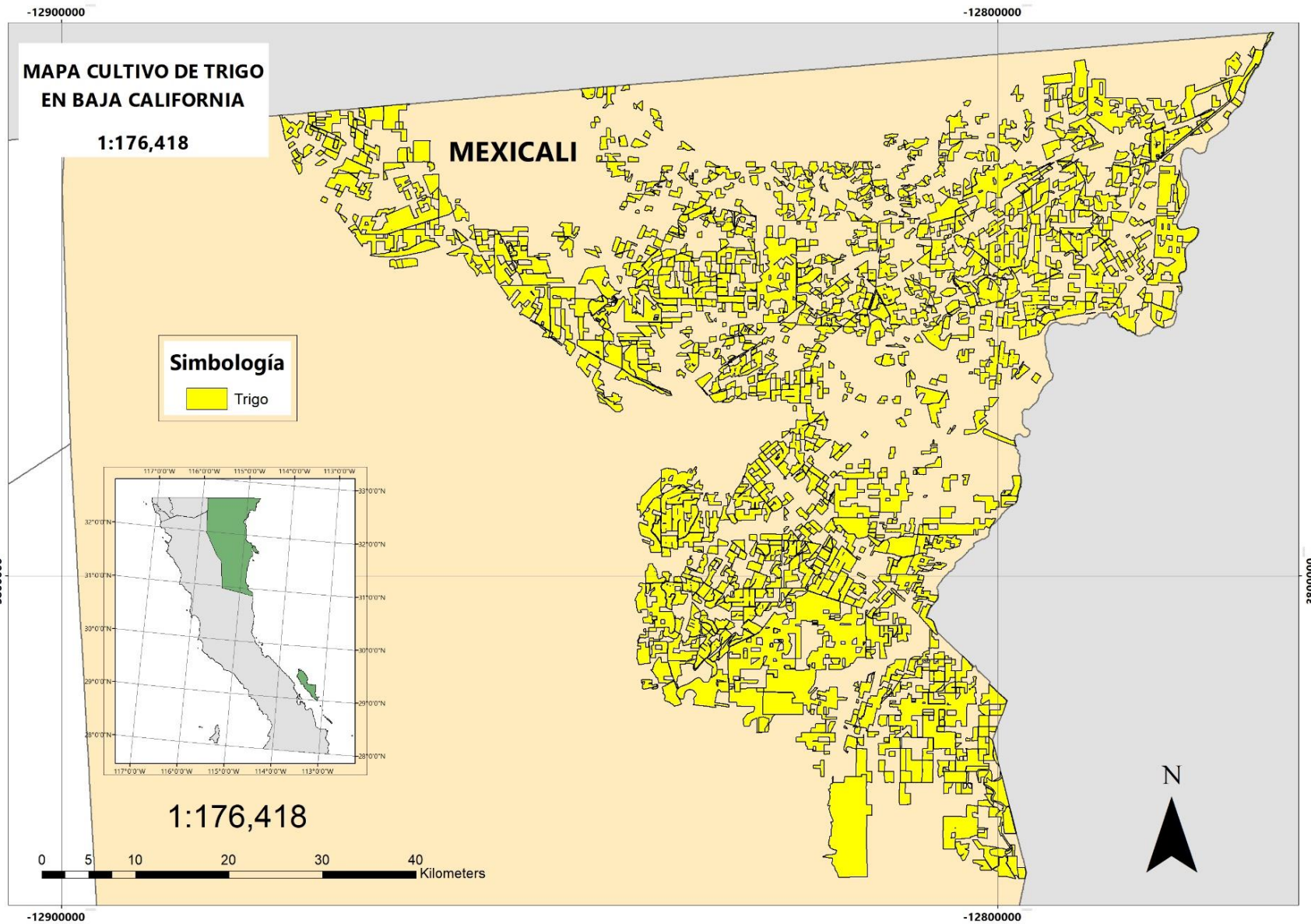


Figura 12. Mapa cultivo de trigo en Baja California

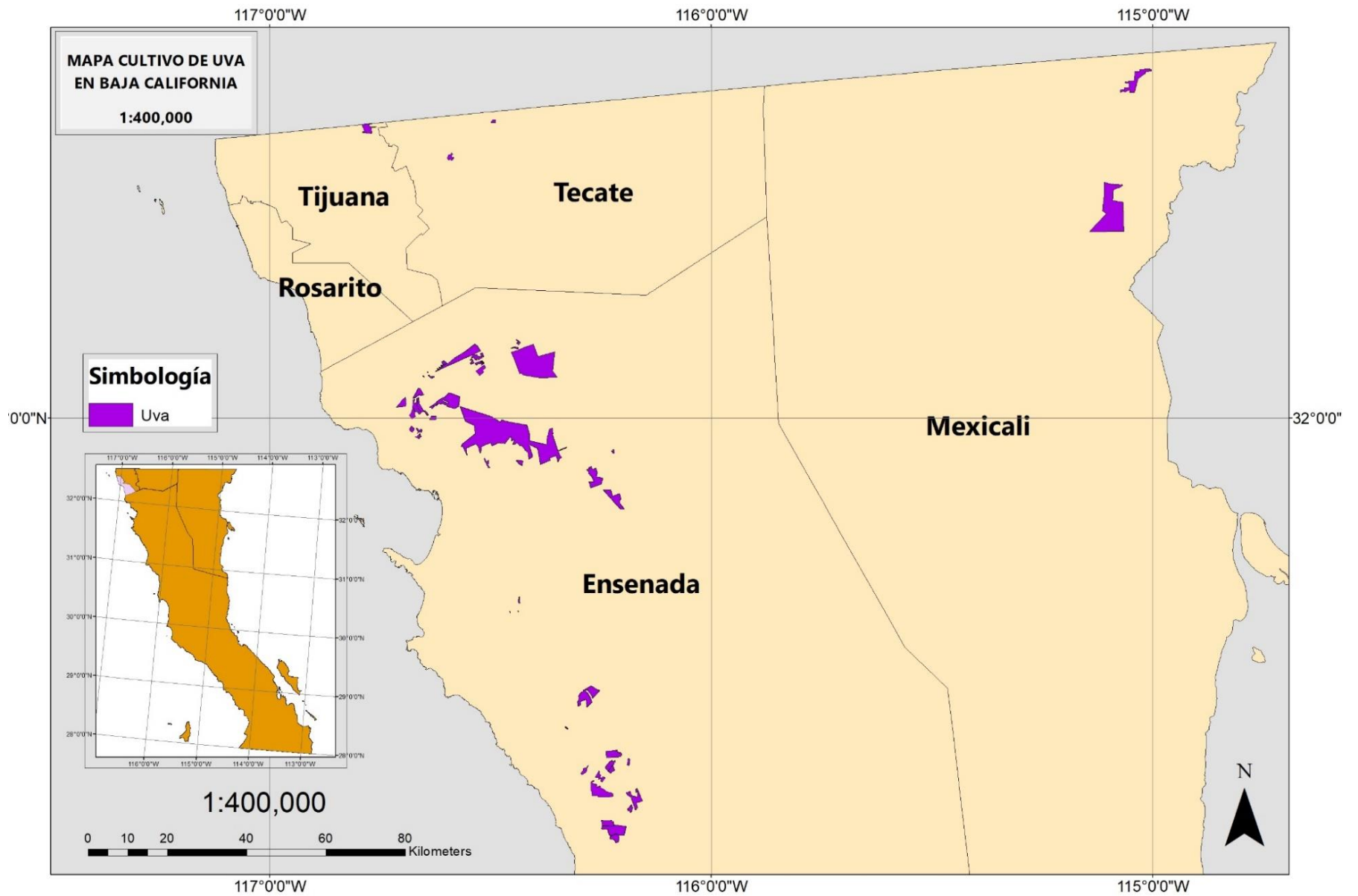


Figura 13. Mapa cultivo de uva en Baja California

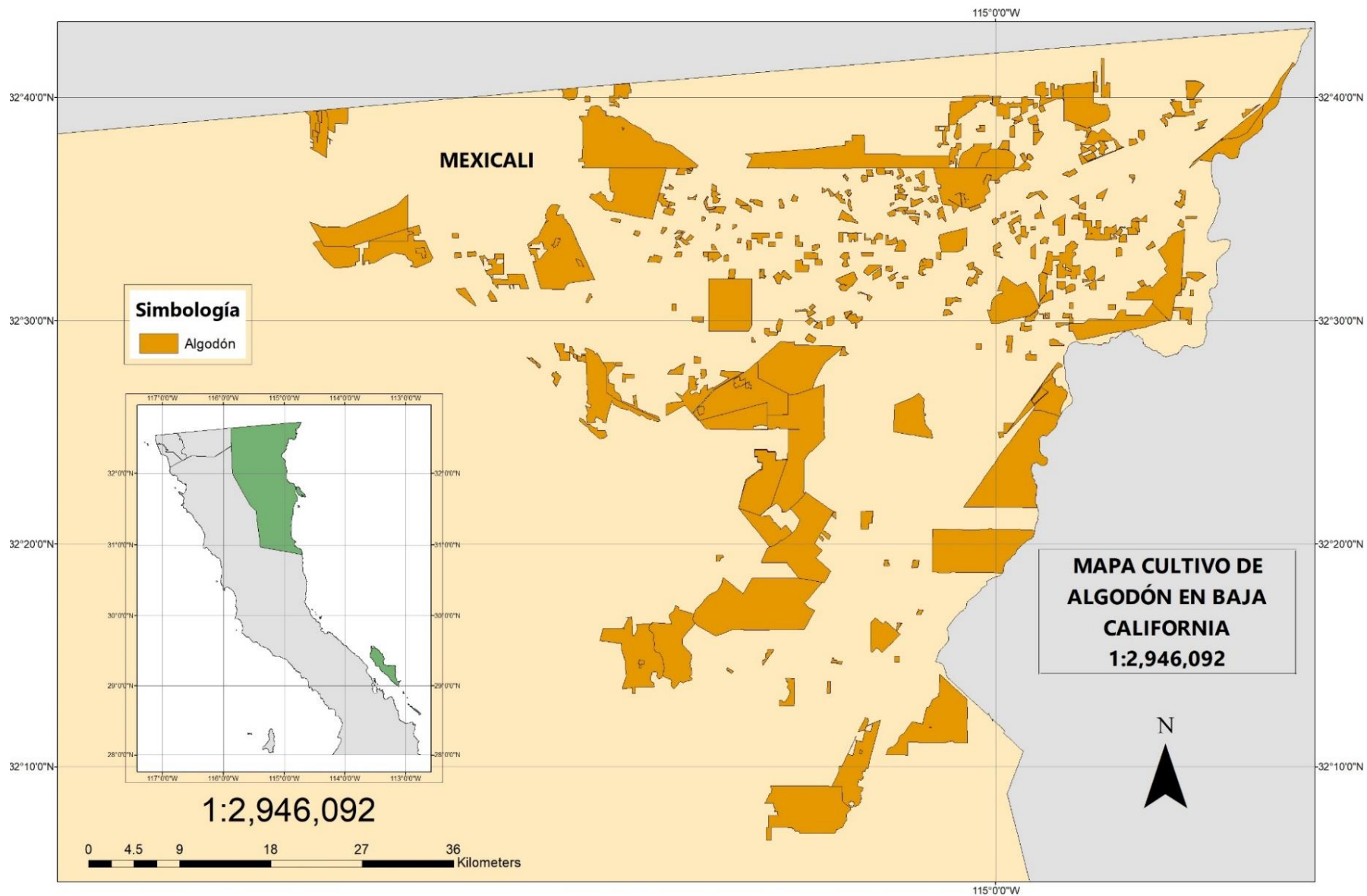


Figura 14. Mapa cultivo de algodón en Baja California

Análisis fisicoquímico de biomasa

El análisis fisicoquímico de la biomasa brinda información importante para seleccionar la tecnología de conversión en energía, elaboración de material de construcción y alimento para rumiantes. El análisis fisicoquímico de la biomasa generada en el Estado, se enlista en las siguientes tablas, resultado de investigaciones previas [21, 26, 59].

Tabla 7. Análisis próximo

Biomasa	Humedad	Material volátil	Cenizas	Carbono fijo
Bagazo cervecero	77.32%	78.47%	4.05%	17.48%
Paja de trigo	5.58%	64.42%	16.09%	19.49%
Vara de algodón	6.28%	72.05%	6.96%	20.99%
Podas de vid	9.14%	73.05%	3.70%	23.25%

Tabla 8. Análisis químico

Biomasa	Extraíbles		Determinación porcentual		
	En acetona	En agua caliente	Lignina	Celulosa	Hemicelulosa
Bagazo cervecero	5.23%	50.25%	17.13%	26.80%	37.17%
Paja de trigo	6.32%	19.60%	20.81%	59.69%	19.03%
Vara de algodón	3.84%	7.74%	22.33%	54.67%	21.95%
Podas de vid	11.46%	19.72%	17.66%	48.68%	29.41%

Tabla 9. Análisis último

Biomasa	C	H	O	N	S
Bagazo cervecero	43.59%	6.18%	37.22%	3.46%	-
Paja de trigo	37.19%	5.56%	39.82%	1.14%	0.20%
Vara de algodón	41.60%	5.28%	45.28%	0.80%	0.14%
Podas de vid	43.08%	5.31%	40.94%	0.79%	-

Aunado a las propiedades fisicoquímicas, es importante determinar si la biomasa requiere de pretratamientos para su uso y con esto minimizar la demanda energética de las reacciones posteriores y limitar su costo [63].

Consideraciones para la estimación de biomasa residual en Baja California

En Baja California se generan cantidades importantes de residuos agroindustriales, como paja de trigo, vara de algodón, bagazo de cebada cervecero y podas de vid. Dichos residuos han sido caracterizados previamente en el Instituto de Ingeniería.

Una vez que se obtuvieron los mapas bases para cada uno de los cultivos y la geolocalización de los puntos de distribución y/o producción de cerveza artesanal, se realizaron mapas de potencial de uso no energético y potencial de uso energético por residuo biomásico. La información utilizada para la estimación del potencial fue la caracterización fisicoquímica y generación de residuo biomásico, las hectáreas sembradas, quema *in situ* del residuo biomásico y los resultados obtenidos de las referencias analizadas.

Los mapas de potencial de uso no energético se centraron en la producción de materiales de construcción y alimento para rumiantes, mientras que para los mapas de potencial de uso energético se centraron en la obtención de bioetanol y potencial energético mediante torrefacción.

Paja de trigo

La paja de trigo se genera como residuo biomásico a partir de la cosecha del trigo. En B.C., cerca del 85% de este material residual es quemado *in situ* para liberar y preparar la tierra para la próxima cosecha, desaprovechando su alto contenido energético [59]. En la Figura 16 se ilustra la paja de trigo [64].



Figura 16. Paja de trigo

Este residuo tiene un potencial de generación de paja 7.2 t/ha y un Poder Calorífico Superior (PCS) de 14.86 MJ/kg, el cual fue determinado experimentalmente [64].

En el presente trabajo se estimó el uso de la paja de trigo como material de construcción, alimento para rumiantes, obtención de bioetanol y producción de energía mediante torrefacción. Las consideraciones tomadas para la estimación se presentan a continuación.

Material de construcción

De acuerdo con García-Velázquez *et al* (2013) [7], para que la paja de trigo pueda en la fabricación de madera plástica, debe pasar por un proceso de disminución de partícula. Para esto, se consideró un pretratamiento de disminución de partícula utilizado por López-Clemente *et al* (2015) [65] al pasar la paja de trigo por un molino de martillo. En la Tabla 10 se enlista la distribución de tamaño de partícula de la paja de trigo.

Tabla 10. Distribución de partícula de paja de trigo

Diámetro de partícula (mm)	Distribución de partícula (%)
<0.25	12.8
0.25 – 0.5	2.5
0.5 – 1	37.4
1 – 2	23.9
2 – 3.36	16
3.36 – 4.76	3.6
4.76 – 6.36	0.7
>6.36	3.6

Asimismo, se consideró un rango de tamaño de partícula de 0.25 a 1.4 mm y un porcentaje de reemplazo de 30 y 60% utilizado por García-Velázquez *et al* (2013) [7].

Alimento para rumiantes

La paja de trigo también es utilizada en la alimentación de rumiantes, sin embargo, debido a su alto contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa, es difícil para el rumiante aprovechar el alto contenido de fibra de la misma [6]. De acuerdo con García Rollan (1983) [66], en animales de engorda no es conveniente exceder el 15% de paja en las raciones a base de cebada. Asimismo, Montañez *et al.* (2004) [6] concluye que el utilizar 70% de paja de trigo tratada con *Pleurotus florida* y 30% de concentrado (67% de maíz molido, 17% de sorgo molido, 10% de melaza, 5% de harina de soya, 0.5% de premezcla mineral y 0.5% de sal común) no afecta la digestibilidad de la ración o la población microbiana del rumiante. Por lo tanto, para la estimación de producción de alimento para rumiantes utilizando paja de trigo, se consideraron 15% y 70% como porcentaje de reemplazo.

Bioetanol

La producción de etanol a partir de paja de trigo requiere al menos cuatro operaciones principales que incluyen pretratamiento, hidrólisis, fermentación y separación [67].

Se ha demostrado que la aplicación de un pretratamiento adecuado al residuo biomásico permite mejorar la digestibilidad enzimática y, posteriormente la fermentación [68]. Existen diversos pretratamientos para mejorar el rendimiento de obtención de bioetanol, uno de ellos es el pretratamiento hidrotérmico continuo.

Debido al alto contenido de celulosa presente en la paja de trigo, la convierte en materia prima para la producción de bioetanol.

Para la estimación del potencial de producción de bioetanol a partir de la paja de trigo, se tomó en cuenta una recuperación de 94% de celulosa en la etapa de pretratamiento. En la fermentación se logra un 89% de conversión a bioetanol utilizando celulosa comercial y aumenta hasta 92% al agregar xilanasa comercial [67]. Asimismo, se consideró una densidad para el bioetanol de 751 kg/m³ [69].

Torrefacción

La torrefacción es un proceso termoquímico que se realiza en un entorno de oxígeno limitado. La biomasa se calienta lentamente en un rango de temperatura de 200 a 310 °C con el objetivo de eliminar compuestos o elementos que no agregan valor energético a la biomasa, examinando el rendimiento másico y rendimiento energético en el producto sólido, mejorando las propiedades de la biomasa, facilitando en gran medida su conversión a energía [70].

Para la estimación de potencial energético se consideró 7.2 t/ha de generación de paja de trigo y un 85% de quema *in situ* de paja de trigo, además de un 44.32% de rendimiento másico y un poder calorífico inferior (PCI) de 21.14 MJ/kg reportado por Torres (2019) [64] para la paja de trigo torrefacta.

Vara de algodón

La vara de algodón se genera también como residuo biomásico a partir de la cosecha de algodón. En Baja California, cerca del 90% de la vara de algodón generada se quema *in situ* [71], dicho cultivo tiene un índice de generación de residuo de 4.4 t de vara de algodón por ha [35]. En la Figura 17 se puede observar la vara de algodón [64].



Figura 17. Vara de algodón

La vara de algodón, al igual que la paja de trigo, es quemado a cielo abierto, dañando al medio ambiente y la salud de los habitantes de las poblaciones cercanas. Asimismo, debido a que este material residual tiene un PCS de 16.91 MJ/kg [64], se emite una gran cantidad de energía al medio ambiente, la cual se desperdicia.

Para el aprovechamiento de la vara de algodón, se consideró como material de construcción, obtención de bioetanol y producción de energía mediante torrefacción. Las consideraciones tomadas para la estimación se presentan a continuación.

Material de construcción

En un estudio realizado por Cheng *et al* (2014) [72], al utilizar 4.77% de vara de algodón en el desarrollo de bloques de cemento, el material está provisto de soporte de carga, rendimiento de preservación del calor y resistencia al agrietamiento, se puede usar para edificios de poca altura con paneles de pared y muros de contención de múltiples pisos en la región de plantación de algodón.

En otro estudio, se presentan las propiedades mecánicas y la microestructura del concreto ligero autocompactante que incorpora 10% de ceniza de vara de algodón como una proporción de reemplazo por peso del contenido de cemento. En dicho estudio la incorporación de la ceniza de vara de algodón como reemplazo de cemento aumentó la resistencia a la compresión en comparación con el concreto ligero

autocompactante [73], por lo que también se determinó el potencial de obtención de cemento a partir de la ceniza de vara de algodón.

Bioetanol

El contenido de celulosa de la vara de algodón la convierte en una materia prima para la producción de bioetanol, sin embargo, es necesario aplicar pretratamientos para mejorar la digestibilidad enzimática y, posteriormente la fermentación [68].

Se han investigado diversos pretratamientos para mejorar el rendimiento de obtención de bioetanol, uno de ellos es el pretratamiento con agua líquida caliente (LHWP). La ventaja de utilizar este método se debe a la ausencia de químicos aditivos, no demanda reactores no corrosivos y la menor formación de compuestos tóxicos [68].

Para la estimación del potencial de producción de bioetanol a partir de la vara de algodón, se tomó en cuenta un rendimiento de 16.81 g de bioetanol/100 g de vara de algodón reportado por Jiang W *et al.* (2015) [68] después del pretratamiento y una densidad para el bioetanol de 751 kg/m³ [69]. Asimismo, se realizó el cálculo de potencial de bioetanol a partir de la vara de algodón sin pretratamiento, considerando un rendimiento de 8.02 g de bioetanol/100 g de vara de algodón [68].

Torrefacción

De acuerdo con Torres (2019) [64], la vara de algodón puede utilizarse como materia prima para un proceso de torrefacción, reportando un rendimiento másico de 76.19%, además de un aumento en el PCI de 15.75 MJ/kg a 21.14 MJ/kg. Por lo tanto, se consideró este proceso para su aprovechamiento energético.

Bagazo de cebada cervecero (BCC)

En Baja California, ha surgido de manera importante el desarrollo de micro-cervecerías. En el proceso de elaboración de cerveza a partir de cebada, se genera bagazo como residuo principal. De acuerdo con Moreno (2017) [21], debido a su alto contenido de materia volátil, el BCC es un residuo adecuado para transformarlo en biocombustible, ya sea biogás mediante digestión anaerobia o bioetanol mediante una conversión bioquímica. En la Figura 18 se visualiza el bagazo de cebada cervecero [74].



Figura 18. Bagazo de cebada cervecero

Sin embargo, para el presente trabajo se utilizó la generación de BCC húmedo y base seca de 8 cervecerías artesanales en Mexicali, B.C. para el 2015 [21], la cual se presenta en la Tabla 11.

Tabla 11. Generación de bagazo cervecero en 2015

Cervecería	Bagazo húmedo (kg)	Bagazo base seca (kg)
Cervecería 11 Perros	11,475.00	2,602.50
Cervecería 2-14 Brewing Co.	2,295.00	5,20.50
Amante Brew Company	22,950.00	5,205.10
Brew Capital Co.	30,600.00	6,940.10
Cerveza Urbana	24,296.40	5,510.40
Cerveza Fauna	43,727.40	9,917.40
Cervecería Legión	38,250.00	8,675.10
Muxa Brewing Company	6,120.00	1,388.00

Asimismo, como se mencionó anteriormente, el BCC puede ser transformado en biogás con un importante contenido energético, debido a que, el PCS del bagazo cervecero es de 18.70 MJ/kg [75].

El BBC, además del potencial energético, también puede ser utilizado como material de construcción, por lo tanto, se presentan a continuación las consideraciones tomadas para la estimación como material de construcción y en la obtención de bioetanol.

Material de construcción

Martínez *et al* (2012) [76], realizó un estudio donde utilizaba BCC base seca para obtener ladrillos que se utilizarían como material de construcción. De acuerdo con los resultados obtenidos, el utilizar un porcentaje de reemplazo del 2.5% de BCC base seca por peso de arcilla, el ladrillo obtenido cumplía con los estándares de calidad, por lo tanto, se determinó el potencial de material de construcción considerando 2.5% de reemplazo.

Bioetanol

El BCC es un material con un alto contenido de biomasa lignocelulósica de la cual se puede producir azúcares para la producción de bioetanol [77].

De acuerdo con Xiros y Christakopoulos (2009) [77] para mejorar la rentabilidad de la producción de bioetanol trabajaron con el organismo *Fusarium oxysporum*, puesto que tiene la capacidad de convertir celulosa y hemicelulosa directamente en etanol a través de los pasos consecutivos de hidrólisis y la fermentación de los productos resultantes de la hidrólisis.

Por lo tanto, para la estimación de bioetanol a partir del bagazo cervecero se consideró el resultado obtenido por estos autores, el cual fue 0.109 g de bioetanol/g de bagazo cervecero. Asimismo, se consideró un total de 40,759.1 kg de bagazo cervecero base seca generados en Mexicali en el año 2015 [21]. y una densidad para el bioetanol de 751 kg/m³ [69].

Podas de vid

La uva es uno de los principales cultivos en el Estado, principalmente destinado para la elaboración de vinos. Durante su desarrollo vegetativo, la uva requiere de procesos de poda, removiendo vástagos (sarmientos) con la finalidad de limitar su crecimiento natural. Debido a dicha actividad se generan residuos los cuales son quemados *in situ* de manera tradicional, liberando una gran cantidad y variedad de contaminantes al

ambiente [26]. Se estima una generación de 5 t de residuos por ha cosechada [78]. En la Figura 19 se presentan las podas de vid [64].



Figura 19. Podas de vid

En el presente trabajo se estimó el uso de las podas de vid como material de construcción y como materia prima en la obtención de energía mediante torrefacción. Las consideraciones se presentan a continuación.

Material de construcción

La distribución del tamaño de partículas es un parámetro clave en la producción de tableros. De acuerdo con un estudio realizado por Wong et al. (2020) [79], se prefieren partículas gruesas con un espesor > 2 a < 4 mm para el núcleo, por lo tanto, es necesario que las podas de vid pasen por un pretratamiento de disminución de partícula. Wong et al. (2020) [79], primero pasó las podas de vid por una astilladora y después por un molino de martillos equipado con una malla cuadrada de 4 mm, encontrando que la distribución de partícula fuera del rango preferible fue de 3.5% aproximadamente. Este dato junto con un porcentaje de reemplazo de 25% de podas de vid en peso de partículas de pino se consideró para estimar el potencial de obtención de tableros, ya que se encuentran dentro de los umbrales aceptables de la mayoría de los estándares globales. Asimismo, se realizó otra determinación considerando un reemplazo de 50% de partículas de podas de vid en peso de partículas de madera de pino en el núcleo, ya

que, de acuerdo con Ntalos et al (2002) [80], las propiedades de la tabla no se veían afectadas, sin embargo, comenta que no se debe evitar el uso de partículas de poda de vid como material de superficie ya que deteriora las propiedades de la tabla.

Torrefacción

Como se mencionó anteriormente, la torrefacción mejora las propiedades de la biomasa con la finalidad de facilitar su conversión a energía. Por lo tanto, para las podas de vid, se consideró el rendimiento de generación de 5 t/ha de podas de vid [78], un rendimiento másico de 80.43% y un PCI de 21.55 MJ/kg [64].

Dado lo anterior, Baja California se considera como una región con un elevado potencial de aprovechamiento energético de biomasa residual. No obstante, la mayor parte de biomasa residual es desechada sin tratamiento previo, lo que conlleva a la generación de contaminantes en el Estado. De modo que, si no se aplican medidas de remediación oportunas, el problema de contaminación se vuelve un pasivo ambiental y como consecuencia se da la dispersión de contaminantes causando enfermedades para el ser humano, animales y recursos naturales [81]. En la Tabla 12 se presenta el resumen de disponibilidad, factor de generación y disposición de biomasa en Baja California.

Tabla 12. Resumen datos de biomasa

Biomasa	Factor de generación	Disponibilidad en Baja California	Disposición
Paja de trigo	7.2 t/ha	662,541.4 t	Quemado <i>in situ</i> : 85%
Vara de algodón	4.4 t/ha	40,138.3 t	Quemado <i>in situ</i> : 90%
Bagazo de cebada cervecero	-	40.76 t	Alimento para ganado, hornear o compostaje
Podas de vid	5 t/ha	12,083.05 t	Quemado <i>in situ</i>

Desarrollo de herramienta digital

Configuración a tabla de atributos

La tabla de atributos es la base de las entidades geográficas, la cual permite visualizar, consultar y analizar datos. Están constituidas por filas y columnas, donde las filas se denominan registros y las columnas campos. Los campos pueden almacenar números, fechas o texto. La tabla de atributos permite representar cartográficamente y visualizar datos, puede clasificar o categorizar por atributos para simbolizar una capa, asimismo ayudan a realizar consultas y análisis espaciales [82].

La tabla de atributos de los mapas base guardan información de clave de área de control, el total de terrenos contenidos en el área de control, total de terrenos, terrenos dedicados al cultivo, superficie total de dichos terrenos, terrenos sembrados y la superficie sembrada reportada. A partir de esta información se desarrollaron los mapas de potencial de uso no energético y potencial de uso energético por residuo biomásico reportados previamente. Sin embargo, se requiere diseñar el formato de la tabla de atributos para cada uno de los mapas, ya que la información que se presentará más adelante en la aplicación de mapeo web se basa en dicha tabla.

Los mapas de potencial de uso energético se centraron en la obtención de bioetanol a partir de bagazo de cebada cervecero, vara de algodón y paja de trigo y el potencial energético mediante torrefacción a partir de podas de vid, vara de algodón y paja de trigo. Además, se agregaron las columnas de cultivo y Estado en la tabla de atributos.

Se dio formato a las columnas de superficie sembrada, potencial de bioetanol y potencial de energía, tales como el alias de la columna, número de decimales y separador de miles. El alias de la columna se edita en el apartado de "properties", al cual se accede dando clic izquierdo en la columna a editar, y para el número de decimales y separador de miles, dentro del mismo menú de "propiedades", en el apartado "numeric". La Figura 20 revela el procedimiento que fue aplicado para los 6 mapas de potencial energético.

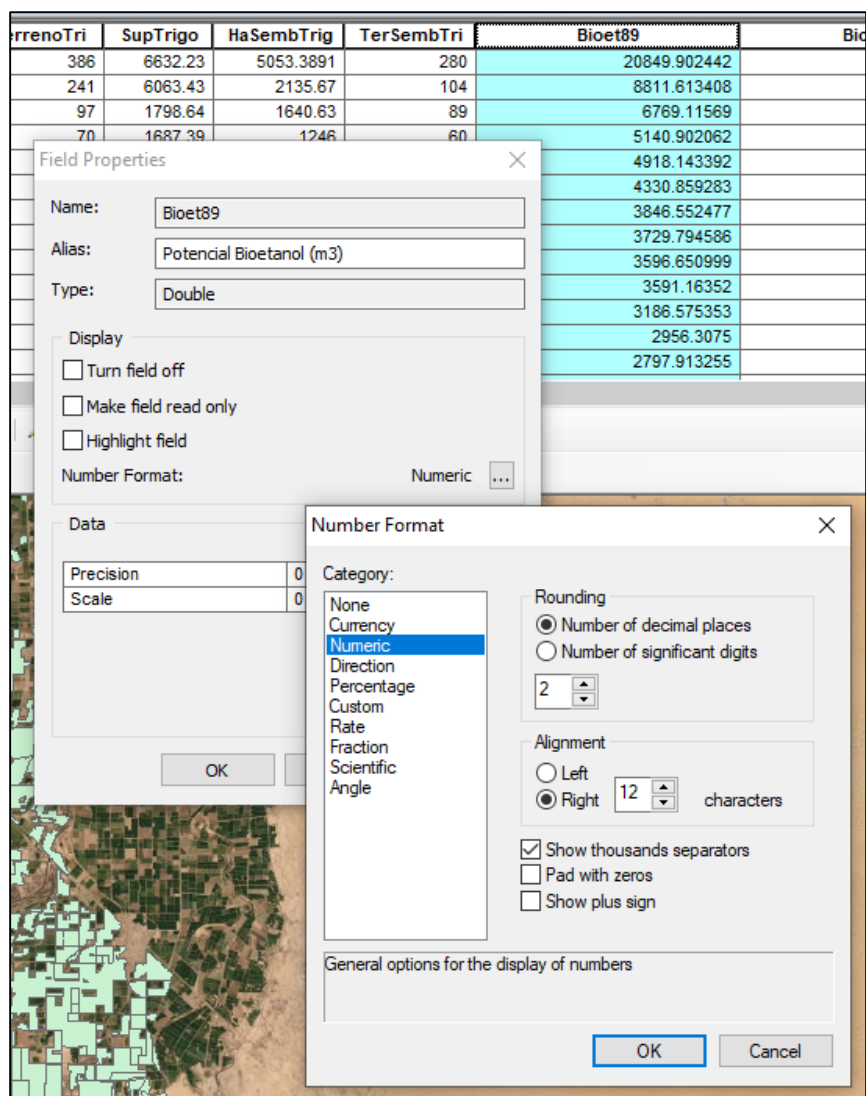


Figura 20. Edición de propiedades de columna

En la Figura 21 se presenta la tabla de atributos con formato, utilizando como ejemplo el potencial de producción de bioetanol a partir de la paja de trigo.

Estado	Cultivo	Control	Terrenos	Terrenos de trigo	Superficie de trigo (ha)	Terrenos sembrados	Superficie sembrada (ha)	Potencial min Bioetanol (m3)	Potencial max Bioetanol (m3)
Baja California	Trigo	02002365-3001	546	386	6,632.23	280	5,053.39	20,564.29	21,257.47
Baja California	Trigo	02002367-2008	386	241	6,063.43	104	2,135.67	8,690.91	8,983.86
Baja California	Trigo	02002347-5006	129	97	1,798.64	89	1,640.63	6,676.39	6,901.43
Baja California	Trigo	02002351-1010	129	70	1,687.39	60	1,246.00	5,070.48	5,241.39
Baja California	Trigo	02002361-5005	364	249	3,377.00	107	1,192.01	4,850.77	5,014.28
Baja California	Trigo	02002349-4003	70	36	1,087.15	36	1,049.67	4,271.53	4,415.52
Baja California	Trigo	02002341-8007	158	95	1,384.76	64	932.29	3,793.86	3,921.74
Baja California	Trigo	02002335-2022	116	85	1,046.04	75	903.99	3,678.70	3,802.70
Baja California	Trigo	02002349-4012	179	124	1,638.87	71	871.72	3,547.38	3,666.96
Baja California	Trigo	02002341-8005	13	8	943.31	7	870.39	3,541.97	3,661.36
Baja California	Trigo	02002365-3029	50	27	1,086.80	20	772.33	3,142.92	3,248.86
Baja California	Trigo	02002367-2008	386	241	6,063.43	13	716.52	2,915.81	3,014.10
Baja California	Trigo	02002364-9003	126	80	973.45	52	678.13	2,759.59	2,852.61
Baja California	Trigo	02002344-1001	118	58	1,027.25	33	630.22	2,564.62	2,651.07
Baja California	Trigo	02002363-4002	211	101	1,106.63	53	624.05	2,539.51	2,625.11
Baja California	Trigo	02002350-7003	190	121	1,843.33	39	580.51	2,362.33	2,441.96
Baja California	Trigo	02002362-A003	252	95	1,228.50	44	553.81	2,253.68	2,329.64
Baja California	Trigo	02002361-5003	91	60	785.44	40	506.69	2,061.93	2,131.43
Baja California	Trigo	02002343-7027	72	45	840.91	26	504.13	2,051.49	2,120.64
Baja California	Trigo	02002355-A007	320	175	2,510.60	41	485.55	1,975.90	2,042.50

Figura 21. Tabla de atributos

Coordenadas de archivo *shapefile*

El archivo *shapefile* incluye la tabla de atributos mencionadas anteriormente. Para la aplicación de mapeo web, es necesario que el archivo *shapefile* tenga coordenadas geográficas WGS_1984_Web_Mercator_Auxiliary_Sphere. Los archivos *shapefile* de los mapas base fueron obtenidos utilizando el Mapa Digital de México, el cual trabaja con el sistema de coordenadas geográficas GCS_ITRF_2008, por lo tanto, fue necesario cambiar el sistema de coordenadas de los mapas de potencial energético que se subirán a la aplicación.

Para hacer el cambio de coordenadas, se utiliza la herramienta de "Project". Esta herramienta se encuentra en el apartado en ArcToolbox > Data management tools > Projections and Transformations > Project.

La Figura 22 ilustra la herramienta "Project". En la sección de "Input Dataset or Feature Class" se selecciona el archivo *shapefile* al que se desea cambiar coordenadas, en la sección "Output Dataset or Feature Class" se indica la dirección donde se guardará el nuevo archivo *shapefile* con las nuevas coordenadas y en la sección de "Output

Coordinate System” se indican las coordenadas deseadas. Este procedimiento se implementó para los 6 mapas de potencial energético.

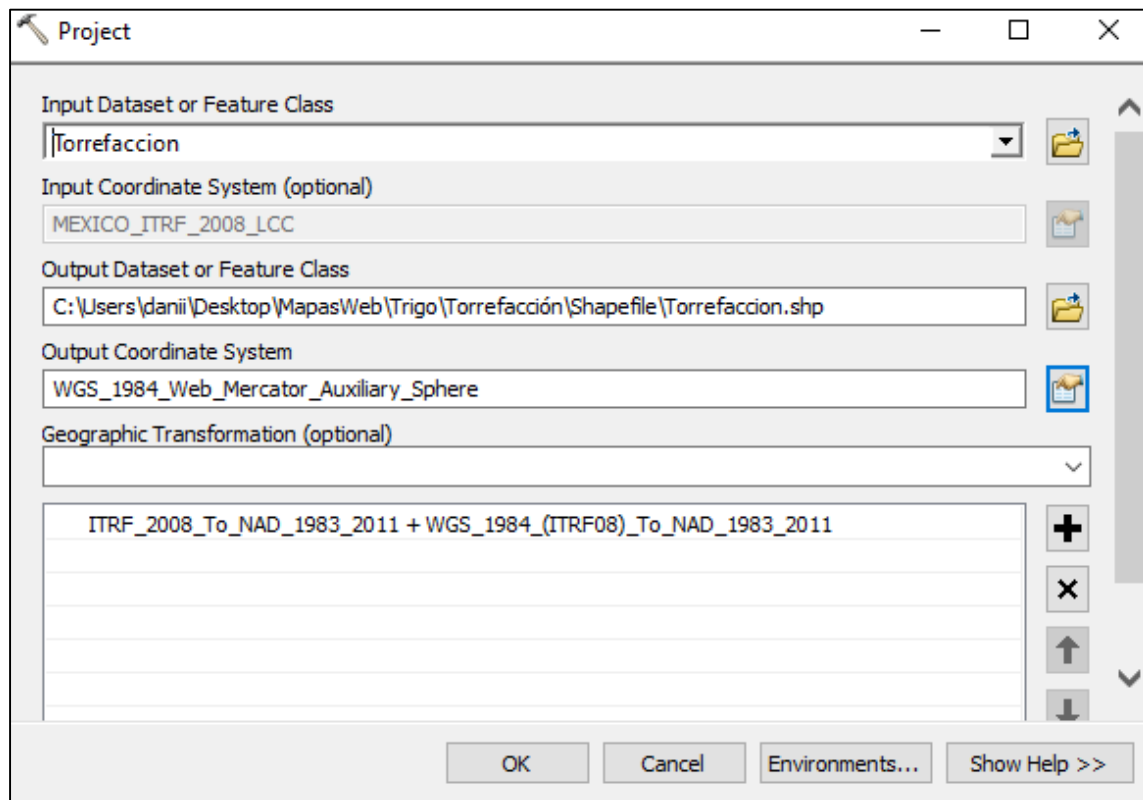


Figura 22. Herramienta Project

Una vez que se cambiaron las coordenadas de todos los mapas, el siguiente paso fue comprimir los archivos .dbf, .prj, .sbn, .sbx, .shp y .shx pertenecientes al archivo *shapefile* para cargarlos en la aplicación de mapeo web.

Diseño de polígonos

La obtención de los polígonos comenzó al convertir la imagen georreferenciada en un archivo *ráster* mediante un proceso de clasificación supervisada con 7 clases. Enseguida, el *ráster* obtenido se mejoró a través de un proceso de clasificación sin supervisión. Finalmente, el archivo *ráster* se convirtió en polígonos mediante la herramienta de “Conversión de *ráster* a polígono”. El polígono resultante depende de la calidad de la imagen georreferenciada y el número de clases adecuada que permita un menor

número de polígonos sin clasificar. En la Figura 23 se despliegan la imagen georreferenciada (a) y el polígono resultante (b).

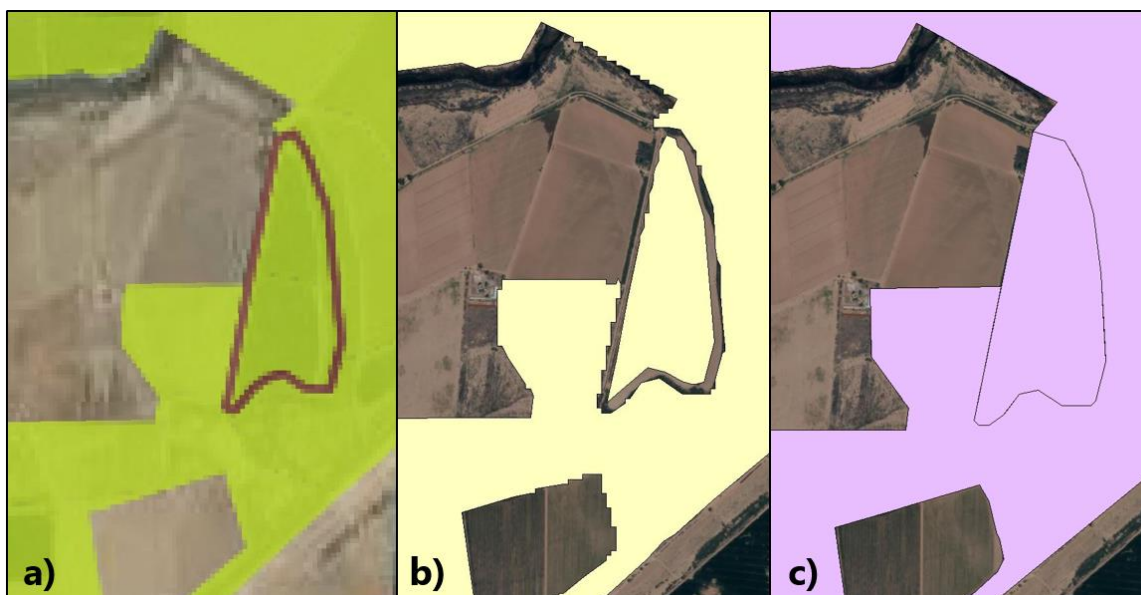


Figura 23. Diseño de polígonos

Para mejorar los polígonos se utiliza la herramienta "Editor", la cual permite editar vértices, remodelar entidades, cortar polígonos, entre otras opciones. El polígono definitivo se expone en la Figura 23 (c). Cabe señalar que dicho procedimiento se está realizando para mejorar la estética de los mapas, principalmente a polígonos con mayor área, y no afecta los resultados obtenidos previamente.

Herramienta de mapeo web

ArcGIS Web AppBuilder® es una herramienta que permite crear aplicaciones web a partir de un mapa, incluye herramientas para configurar diversas funciones o plantillas para personalizar la aplicación [83].

Mediante la herramienta de Web AppBuilder® se pueden crear aplicaciones HTML y JavaScript que se ejecuten en cualquier dispositivo, contiene widgets listos para utilizar, se puede personalizar el aspecto de la aplicación con temas configurables, alojar aplicaciones en línea o ejecutarlas en un servidor propio y crear plantillas de aplicación personalizadas, entre otras [83].

En esta etapa del proyecto se utilizó la aplicación de mapeo web, para integrar y presentar la información de los mapas de potencial energético al usuario de una manera interactiva.

Aplicación de mapeo web

Para utilizar la herramienta Web AppBuilder® de ArcGIS, es necesario crear una cuenta, la cual es totalmente gratuita. Una vez creada la cuenta, dentro del menú de opciones se selecciona la herramienta de “Mapa” la cual se exhibe en la Figura 24. En esta herramienta se cargan los mapas en formato .zip trabajados anteriormente.

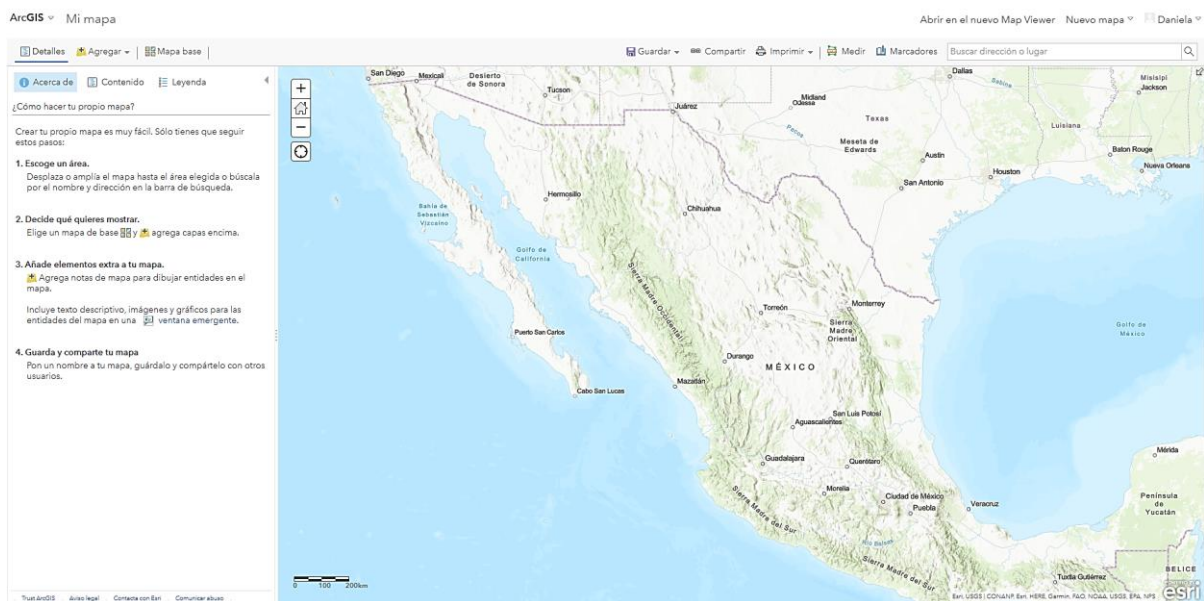


Figura 24. Herramienta “Mapa”

Para cargar los mapas se selecciona el botón de “Agregar” el cual despliega un submenú y se elige la opción de “Agregar capa desde un archivo”. La opción arroja una ventana donde se cargarán los mapas necesarios. Una vez cargados los archivos, la herramienta permite cambiar configuración de leyenda, tabla de información, estilo de distribución, transparencia, rango de visibilidad, cambiar de nombre del mapa, configuración de ventana emergente, entre otras, como se aprecia en la Figura 25.

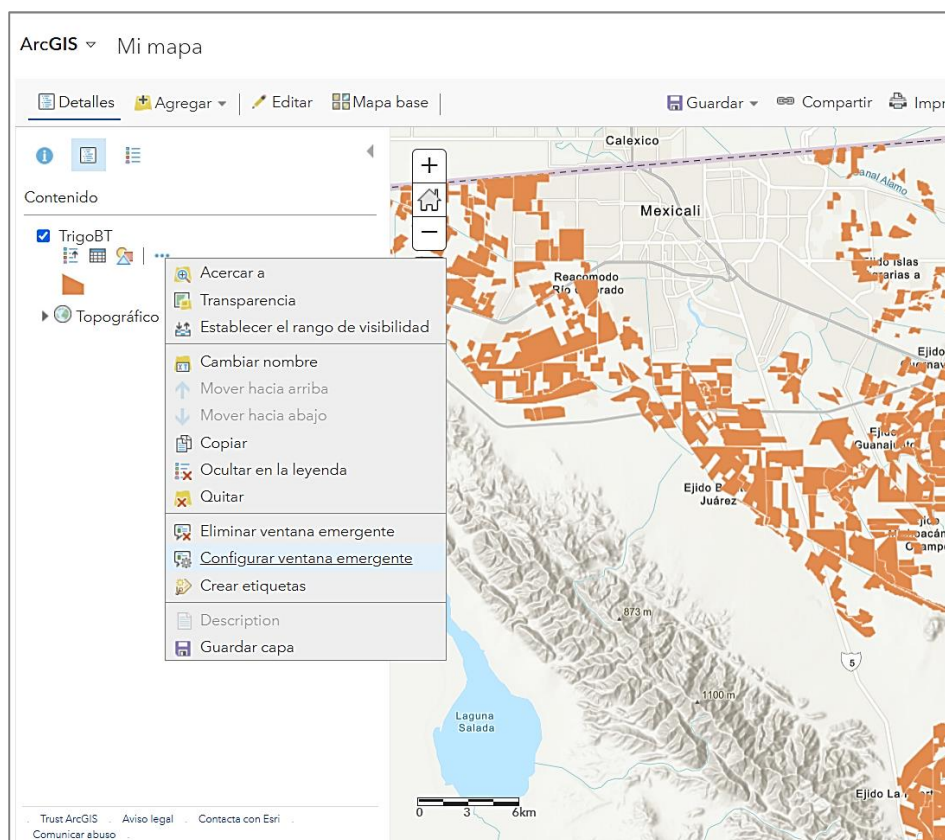


Figura 25. Configuración de contenido

Una de las configuraciones importantes fue la ventana emergente, ya que en ella se enlistan los atributos para cada polígono del archivo *shapefile*. Para esto se optó por integrar la información de potencial de producción de bioetanol y energía por tipo de biomasa, por lo que fue necesario agrupar la información de la tabla de atributos por residuo biomásico. Al seleccionar un polígono, se despliega una ventana emergente la cual contiene información de Estado, tipo de cultivo, superficie total, superficie sembrada en área seleccionada, producción total de bioetanol, producción de bioetanol en área seleccionada, producción total de energía, producción de energía en área seleccionada y, para el caso del bagazo de cebada cervecero, generación total de bagazo de cebada cervecero, como se puede apreciar en la Figura 26.

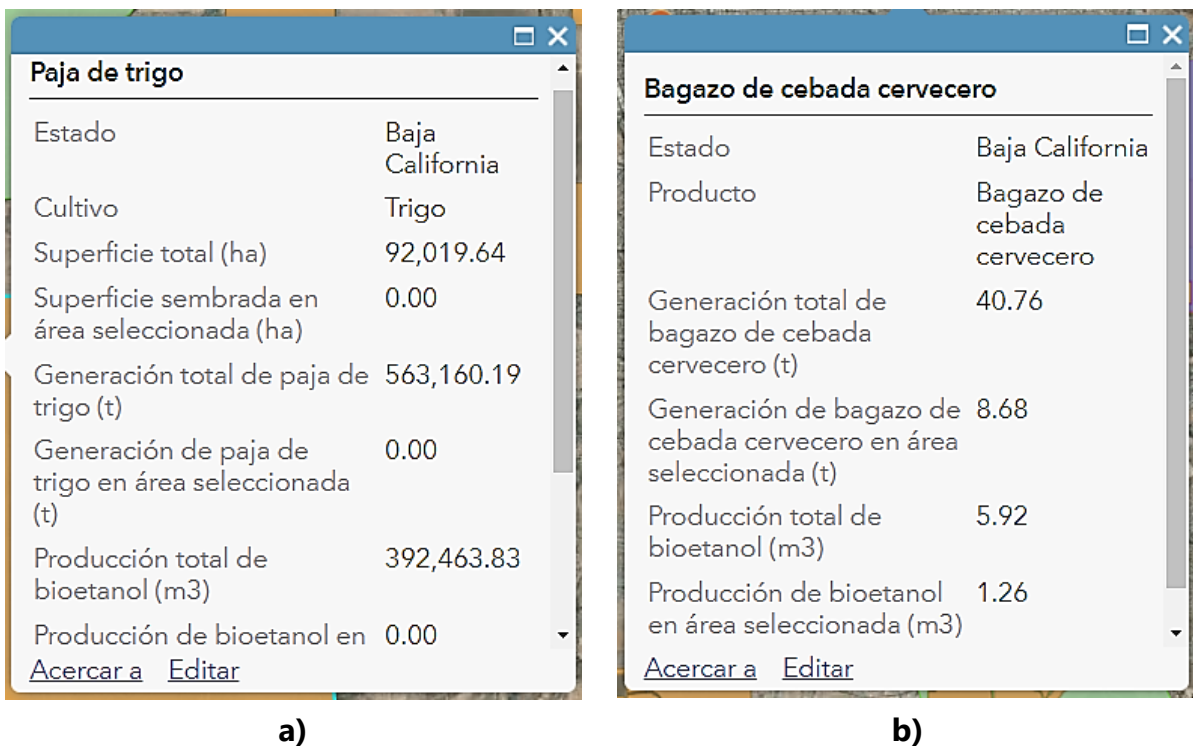


Figura 26. Configuración de ventana emergente para: a) paja de trigo, vara de algodón y vara de uva, b) bagazo de cebada cervecero

La selección de esta configuración para la presentación de ventana emergente, es para que el usuario visualice la información de una manera más concreta y amigable.

Una vez que se terminó de configurar el formato e información del mapa se procedió a crear la aplicación web. Esto se hace desde el perfil de usuario en la sección de contenido, se selecciona la opción de "crear aplicación" y después la opción de "configurable apps". La herramienta despliega una ventana emergente donde se aprecia el tipo de plantillas disponibles para mapas web, como se puede apreciar en la Figura 27.



Figura 27. Plantillas disponibles para mapas web

Para el mapa web se eligió la plantilla de “leyenda interactiva” debido a que esta plantilla permite visualizar datos en un mapa filtrando elementos en la leyenda. Por configuración de leyenda se consideró mostrar en la misma solamente la superficie total cultivada de algodón, trigo y uva y, para el bagazo de cebada cervecero la generación total.

Una vez seleccionada la plantilla se abre la aplicación para cargar el mapa configurado previamente, la cual también permite escribir una breve descripción del mapa, modificar la forma de interactividad para explorar o analizar el mapa y el tema y diseño de la aplicación.

Para la configuración de aplicación se incluyeron los botones de zoom, búsqueda, leyenda, capas y mapa base.

RESULTADOS

Bioetanol

Vara de algodón

El potencial de producción de bioetanol a partir de la vara de algodón fue de 8,085.92 m³. Del cálculo de potencial de bioetanol a partir de la vara de algodón sin pretratamiento, se obtuvo un potencial de 3,857.77 m³. Se concluye que el aplicar pretratamiento a la vara de algodón implica un aumento de aproximadamente 52% de obtención de bioetanol.

La Figura 28 exhibe la distribución de la estimación del potencial de producción de bioetanol a partir de la vara de algodón pretratada.

Bagazo de cebada cervecero

Como resultado se obtuvo una estimación de 5.92 m³ de bioetanol. En la Figura 29 se observa la distribución de la estimación del potencial de producción de bioetanol a partir del bagazo cervecero.

Paja de trigo

El potencial obtenido fue de 374,465.19 a 387,087.61 m³ de bioetanol a partir de la paja de trigo. La Figura 30 muestra la distribución de la estimación máxima del potencial de producción de bioetanol a partir de la paja de trigo pretratada.

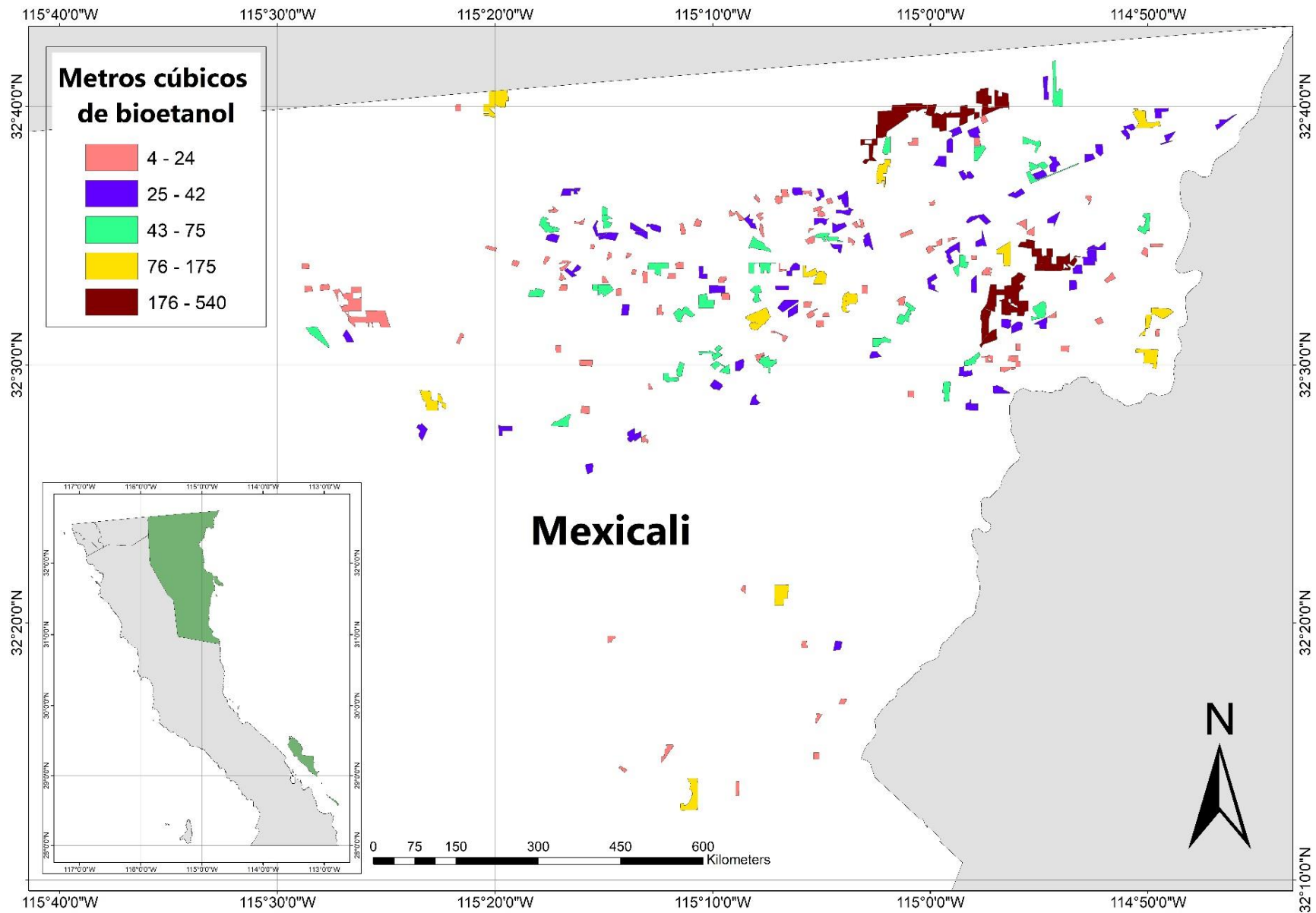


Figura 28. Metros cúbicos de bioetanol a partir de vara de algodón

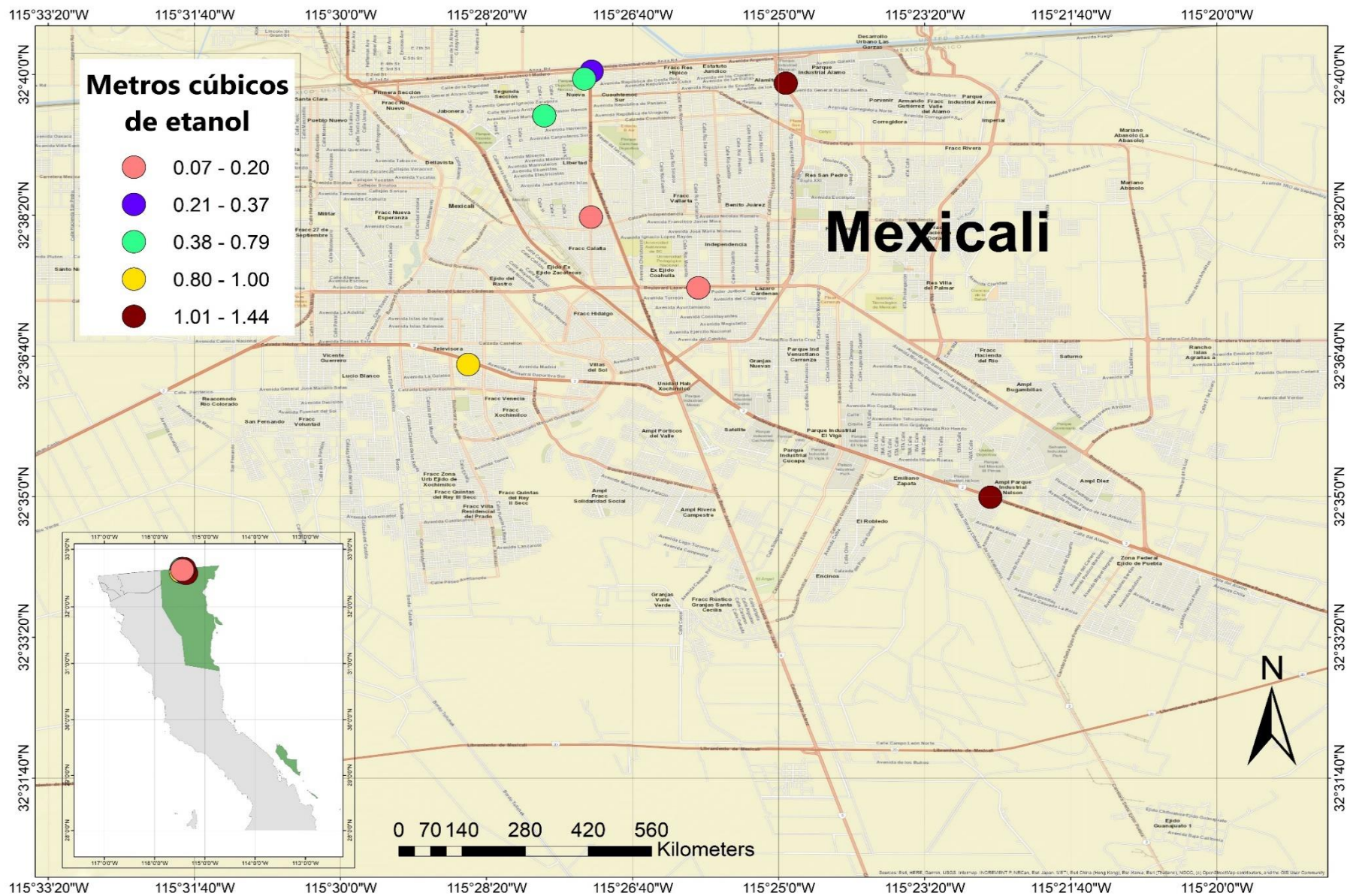


Figura 29. Metros cúbicos de bioetanol a partir de bagazo cervecero

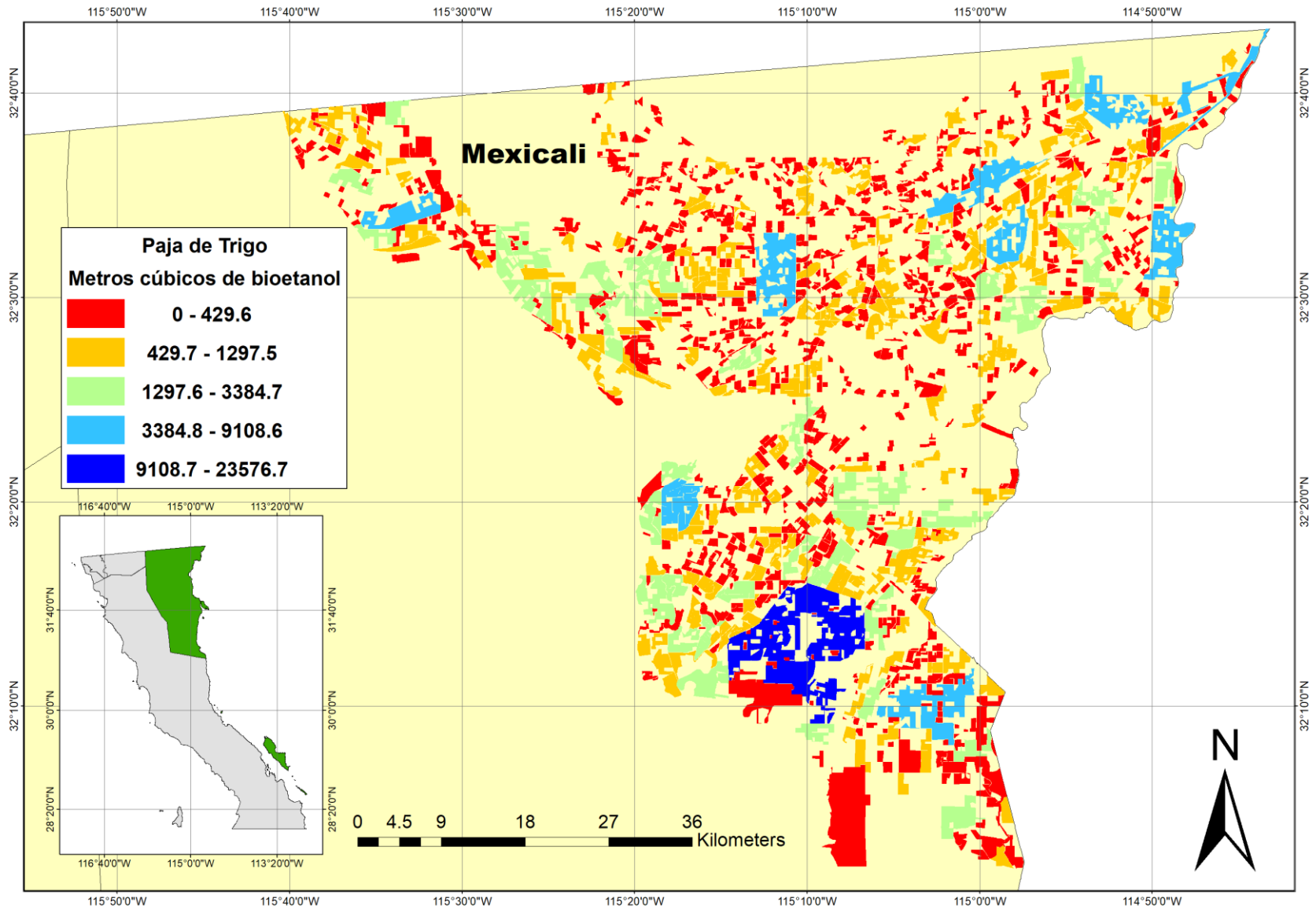


Figura 30. Metros cúbicos de bioetanol a partir de paja de trigo

Torrefacción

Vara de algodón

Para la vara de algodón se obtuvo como resultado un total de 0.58 PJ de energía estimada al utilizar la vara de algodón torrefacta. Se realizó una estimación de potencial de energía para la vara de algodón no torrefacta a modo de comparación, tomando un PCI de 15.75 MJ/kg (Torres 2015). Se concluye que, al torrefactar la vara de algodón, el potencial de obtención de energía aumenta en un 25% aproximadamente.

La Figura 31 ilustra la distribución de la estimación del potencial de producción de energía a partir de la vara de algodón torrefacta.

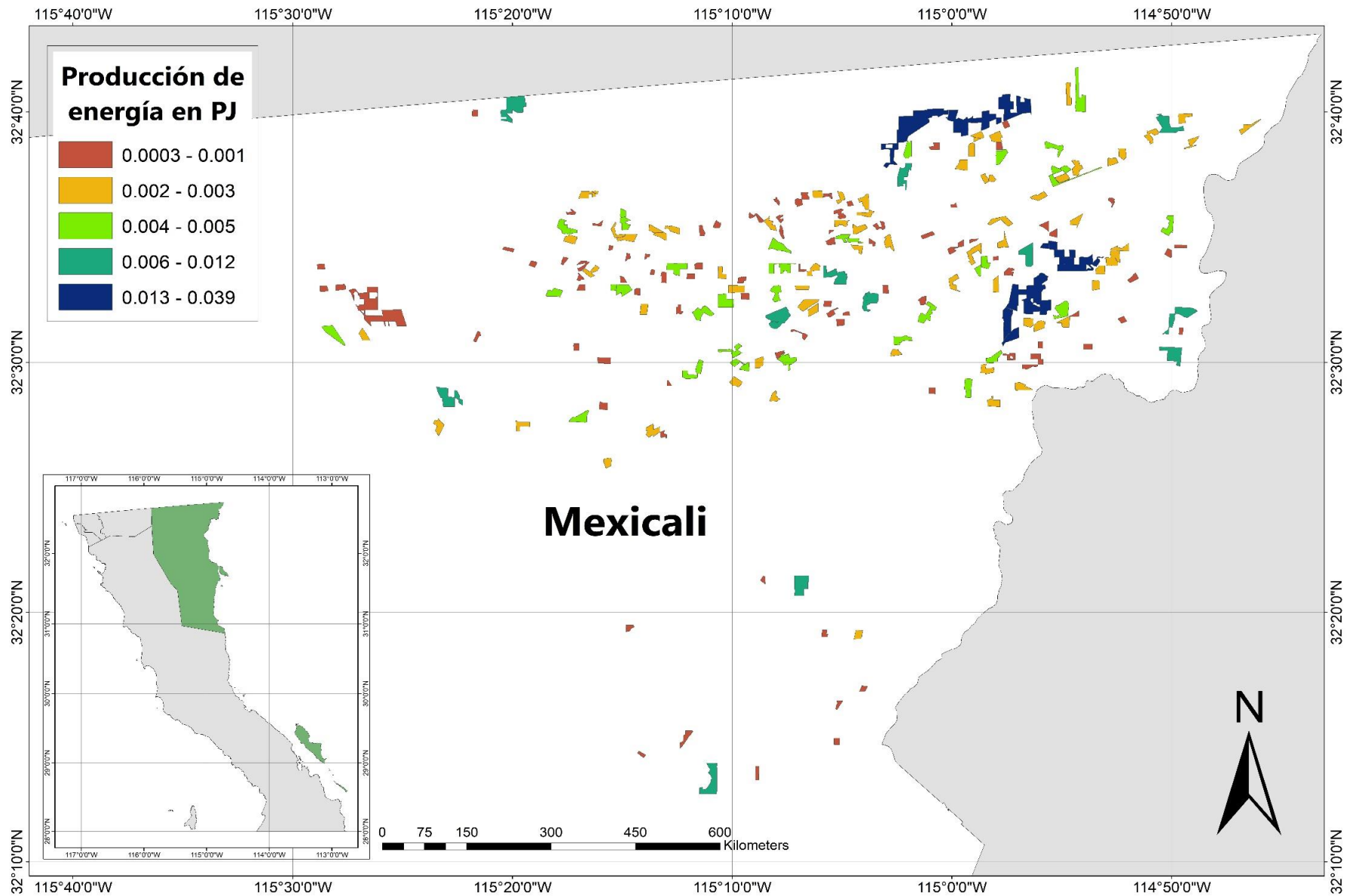


Figura 31. Producción de energía en PJ a partir de vara de algodón

Podas de vid

Para las podas de vid se obtuvo como resultado un total de 0.20 PJ de energía estimada al utilizar la poda de vid torrefacta. Se realizó una estimación de potencial de energía para la poda de vid no torrefacta a modo de comparación, tomando un PCI de 15.8 MJ/kg (Torres 2015). Se concluye que, al torrefactar las podas de vid, el potencial de obtención de energía aumenta en un 27% aproximadamente.

La Figura 32 exhibe la distribución de la estimación del potencial de producción de energía a partir de las podas de vid torrefacta.

Paja de Trigo

A partir de la paja de trigo torrefacta se obtuvo como resultado un potencial energético de 5.28 PJ. Al realizar la torrefacción a la paja de trigo, el poder calorífico de la biomasa incrementa en un 35% aproximadamente.

La Figura 33 presenta la distribución de la estimación del potencial de producción de energía a partir de la paja de trigo torrefacta.

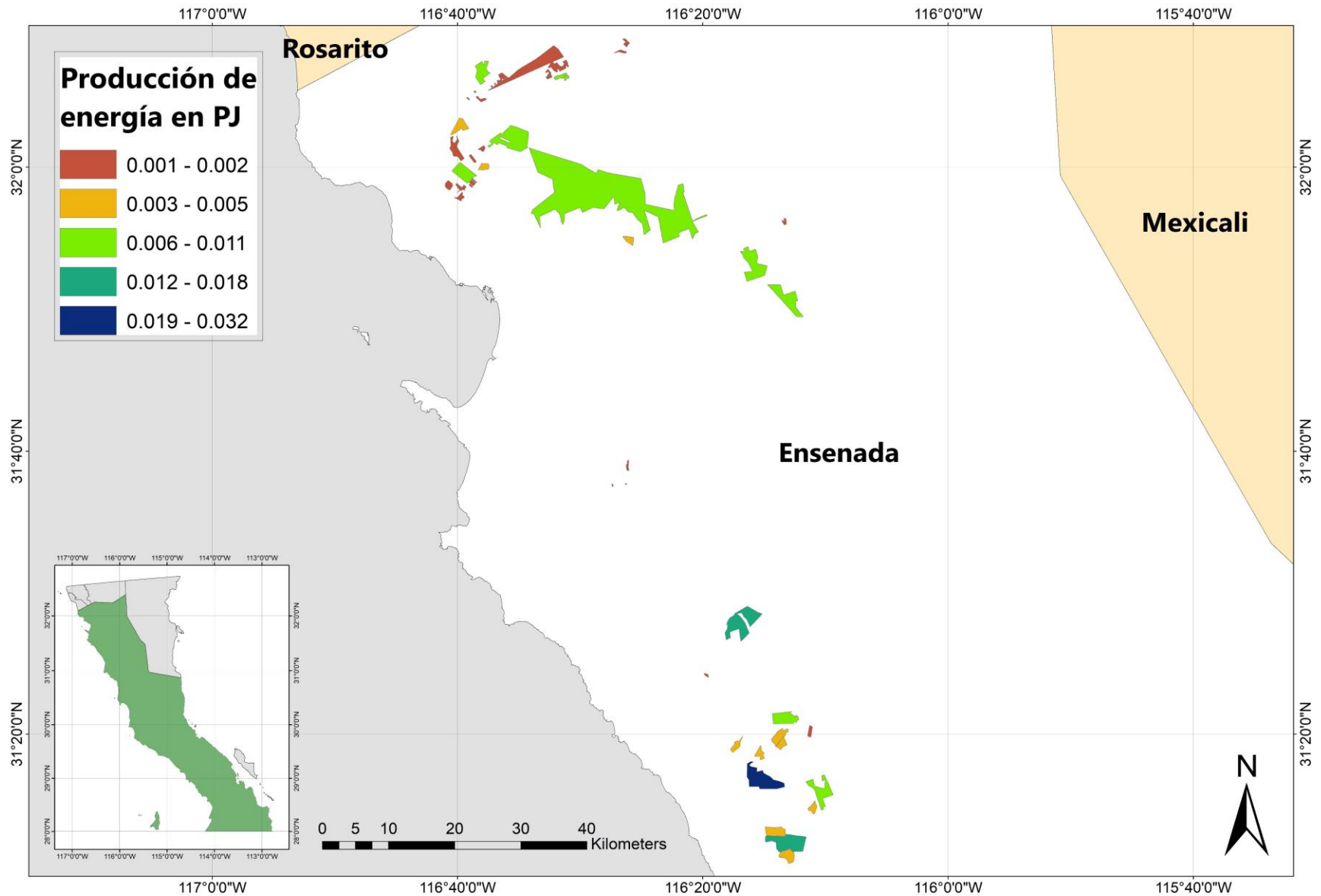


Figura 32. Producción de energía en PJ a partir de podas de vid

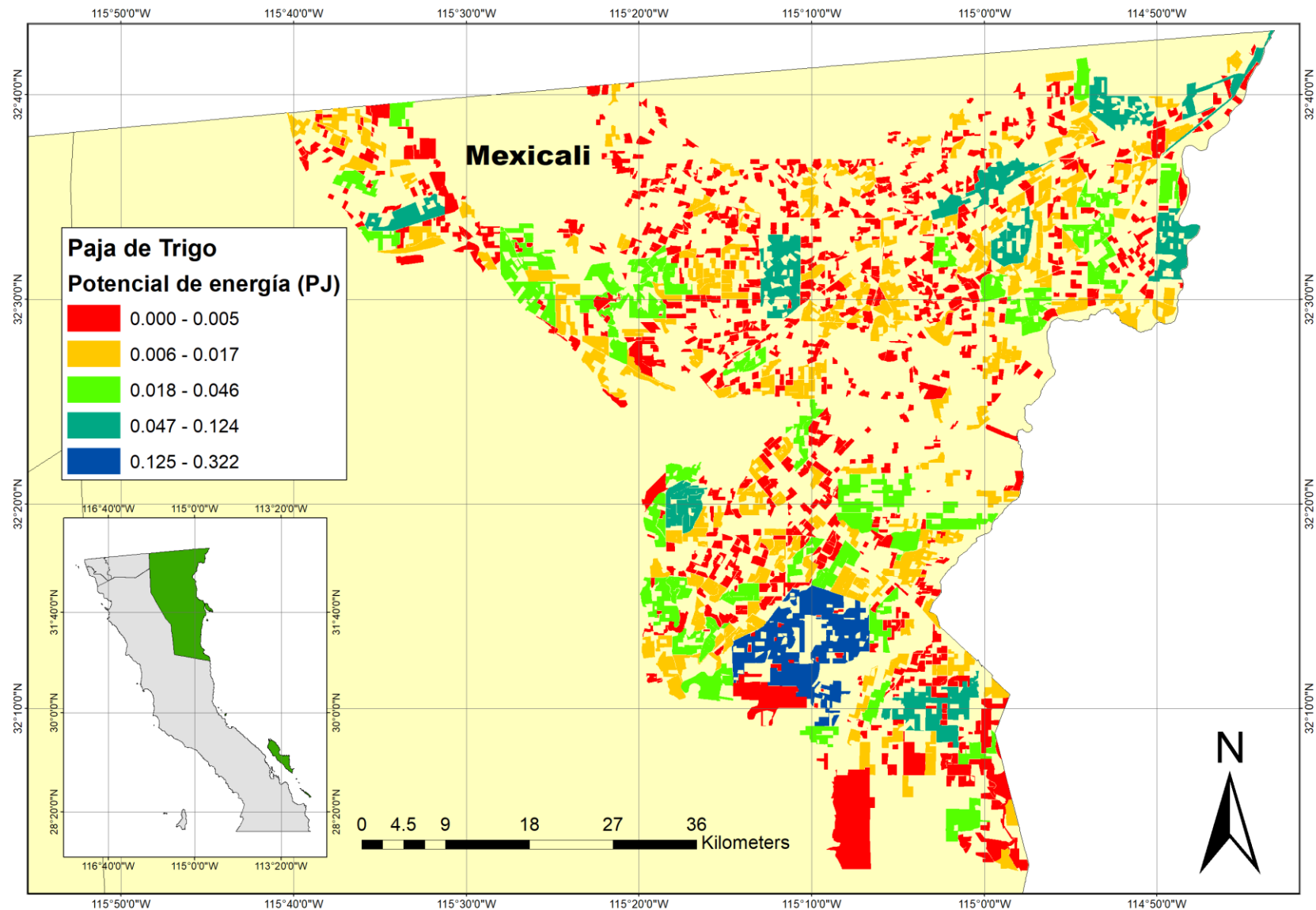


Figura 33. Potencial de energía en PJ a partir de paja de trigo

Al considerar la biomasa residual como materia prima para la obtención de productos energéticos se obtuvo un potencial de 6.73 PJ a partir de bioetanol, mientras que para el potencial energético mediante torrefacción fue de 6.07 PJ. El total del potencial energético estimado, podría ayudar a incrementar en un 3.4% la participación de la biomasa en la producción de energía primaria en México.

En la Tabla 13 se presenta el resumen de la estimación del potencial energético de acuerdo a la biomasa residual utilizada.

Tabla 13. Potencial energético de biomasa residual

Biomasa	Generación (t)	Producto	Cantidad	Unidad
Paja de trigo	563,160.19	Bioetanol	387,087.61	m ³
		Torrefacción	5.28	PJ
Vara de algodón	36,124.47	Bioetanol	8,085.92	m ³
		Torrefacción	0.58	PJ
Bagazo de cebada cervecero	40.76	Bioetanol	5.92	m ³
Podas de vid	12,083.05	Torrefacción	0.21	PJ

Material de construcción

Bagazo de cebada cervecero

Al utilizar el BCC base seca en la obtención de material de construcción, se estimó un total de 1,630,364 toneladas de ladrillo a partir de 8 cervecerías artesanales para el 2015. La distribución se detalla en la Figura 34.

Paja de trigo

Para la paja de trigo se realizaron dos mapas considerando 30% y 60% de reemplazo de matriz polimérica con paja de trigo para la producción de madera plástica. Para un porcentaje de reemplazo del 30%, se obtuvo como resultado una producción de 2,045,678.34 toneladas de madera plástica, mientras que para un porcentaje de 60% de reemplazo resultó en 1,022,839.17 toneladas de madera plástica. La distribución con 30% de reemplazo se expone en la Figura 35 y para un 60% de reemplazo en la Figura 36.

Vara de algodón

Para la vara de algodón se consideraron dos escenarios, en el primero se consideró un 4.77% de reemplazo de vara de algodón en peso de cemento, con el cual se obtuvo como resultado un total de 7,800,260.55 toneladas de cemento. La distribución se indica en la Figura 37.

En el segundo escenario se presenta un reemplazo de 10% de ceniza de vara de algodón como una proporción de reemplazo por peso del contenido de cemento en la producción de concreto, mediante el cual se obtuvo como resultado un total de 258,962.41 toneladas de cemento. La distribución se señala en la Figura 38.

Podas de vid

Al utilizar las podas de vid como material de reemplazo en la elaboración de tableros y tablas como material de construcción para un 25% de reemplazo con podas de vid se obtuvo como resultado un total de 592,395.40 toneladas de tableros, mientras que para un 50% de reemplazo con podas de vid se obtuvo como resultado un total de 296,197.70 toneladas de tablas. La distribución para un 25% y 50% de reemplazo se ilustra en la Figura 39 y 40 respectivamente.

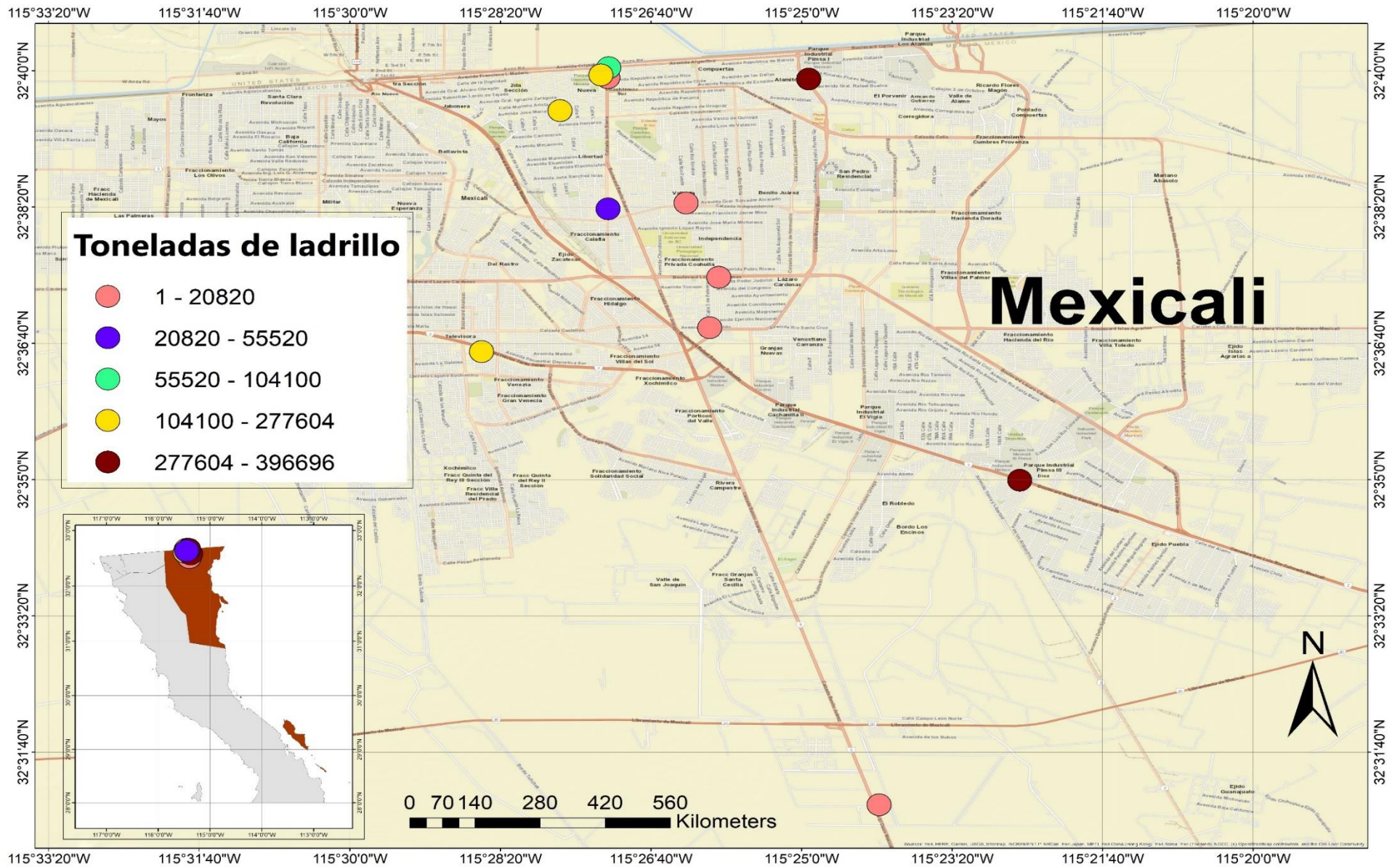


Figura 34. Toneladas de ladrillo con 2.5% de bagazo cervecero

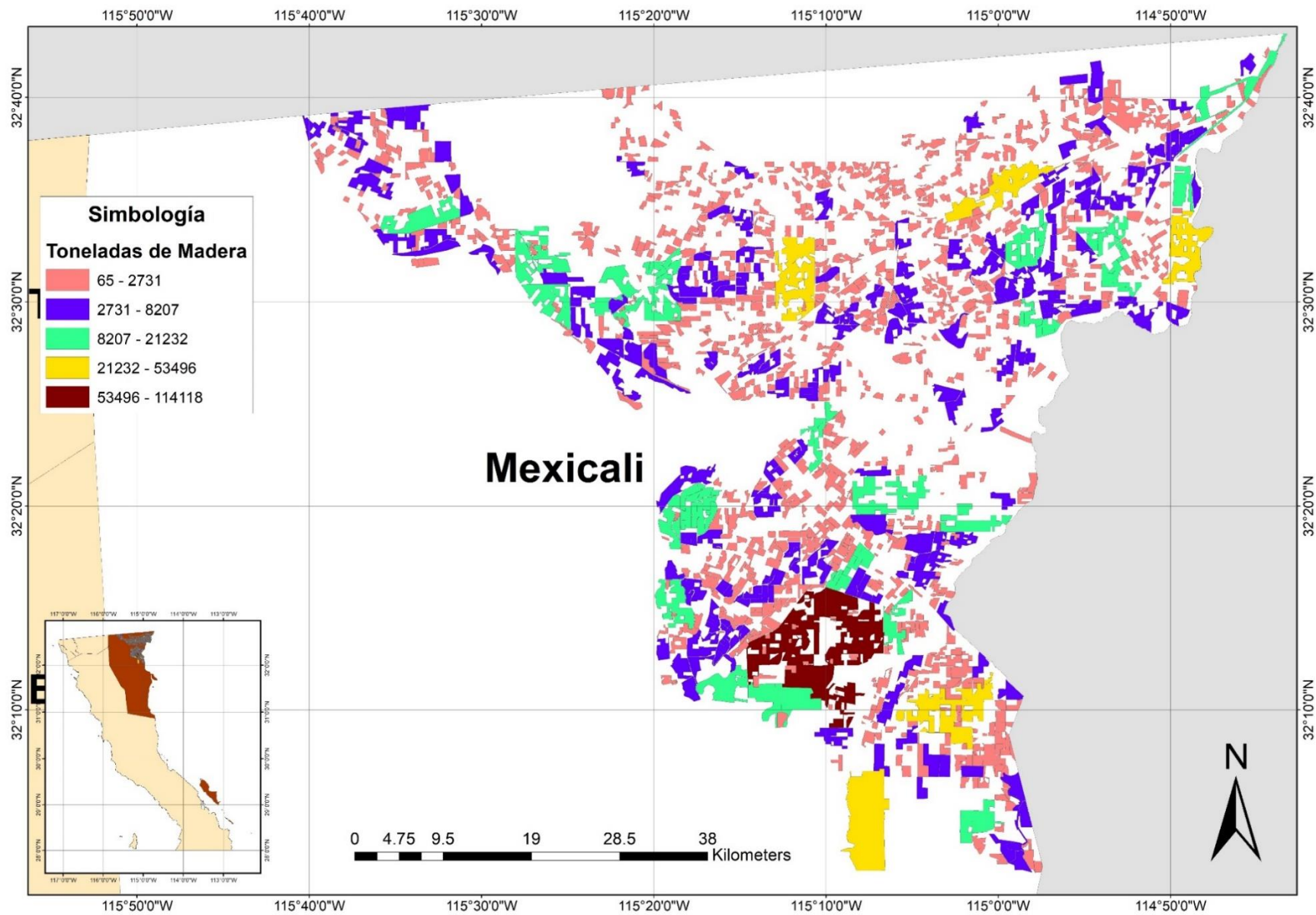


Figura 35. Toneladas de madera plástica con 30% de paja de trigo

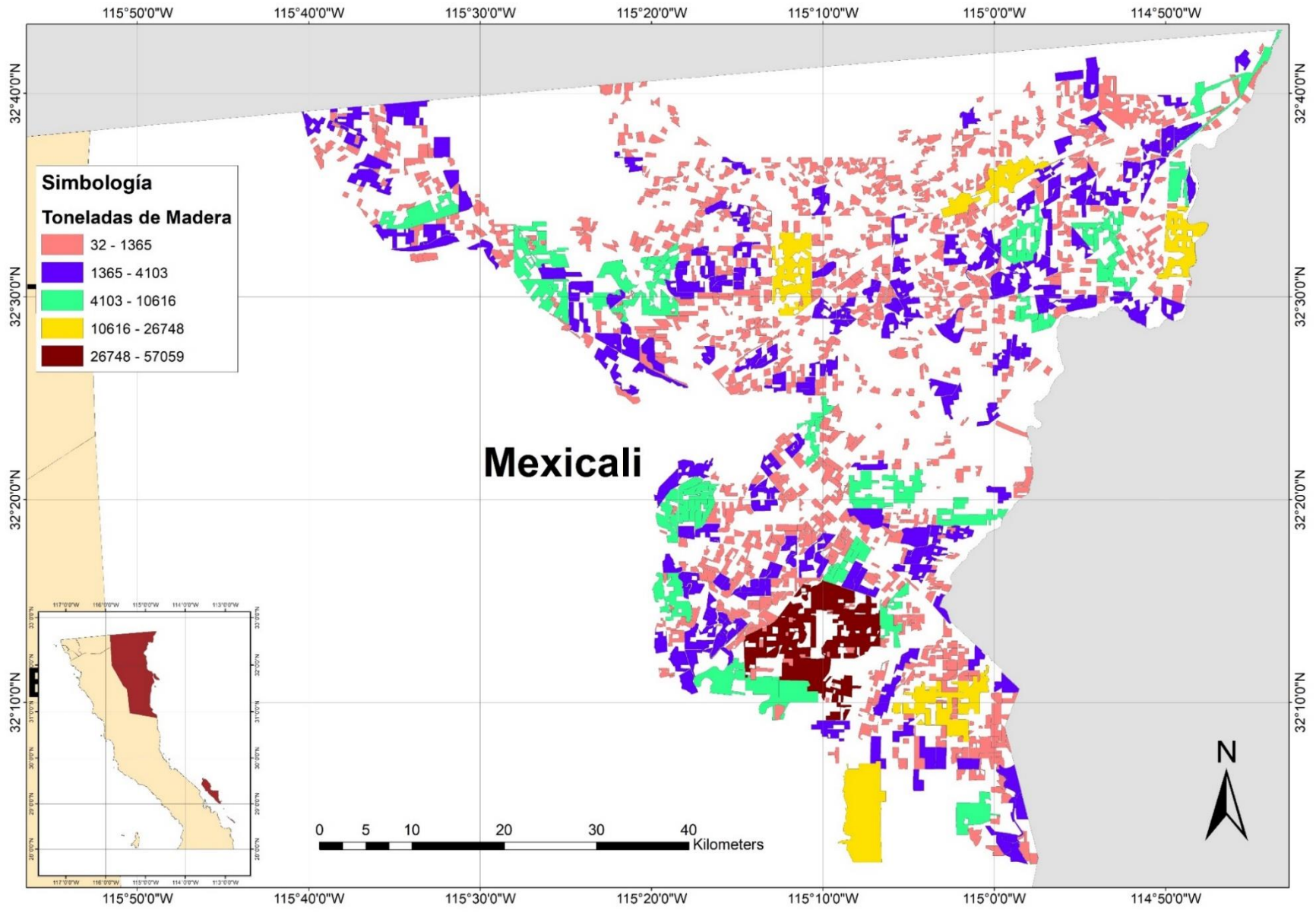


Figura 36. Toneladas de madera plástica con 60% de paja de trigo

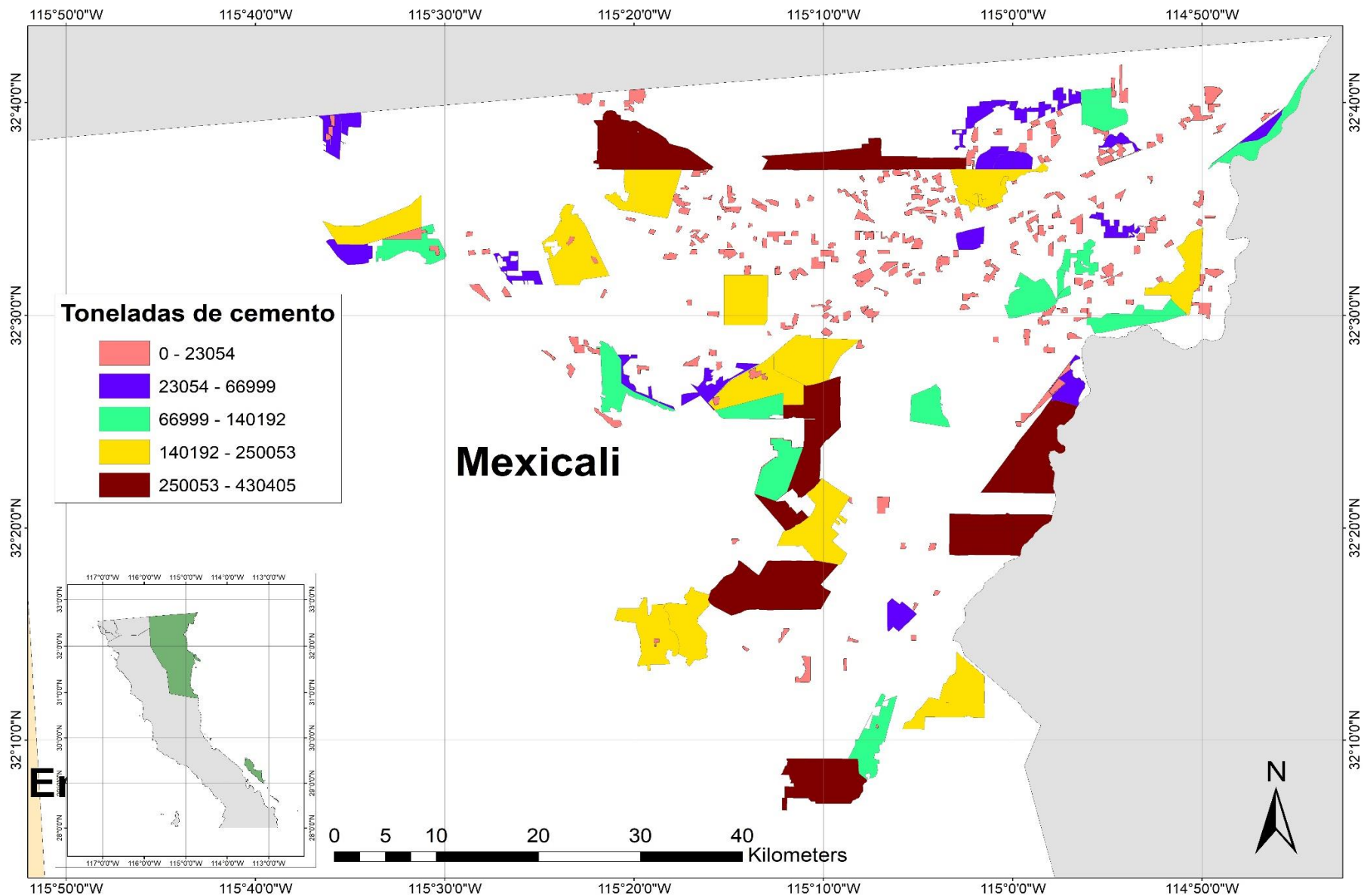


Figura 37. Toneladas de cemento con 4.77% de vara de algodón

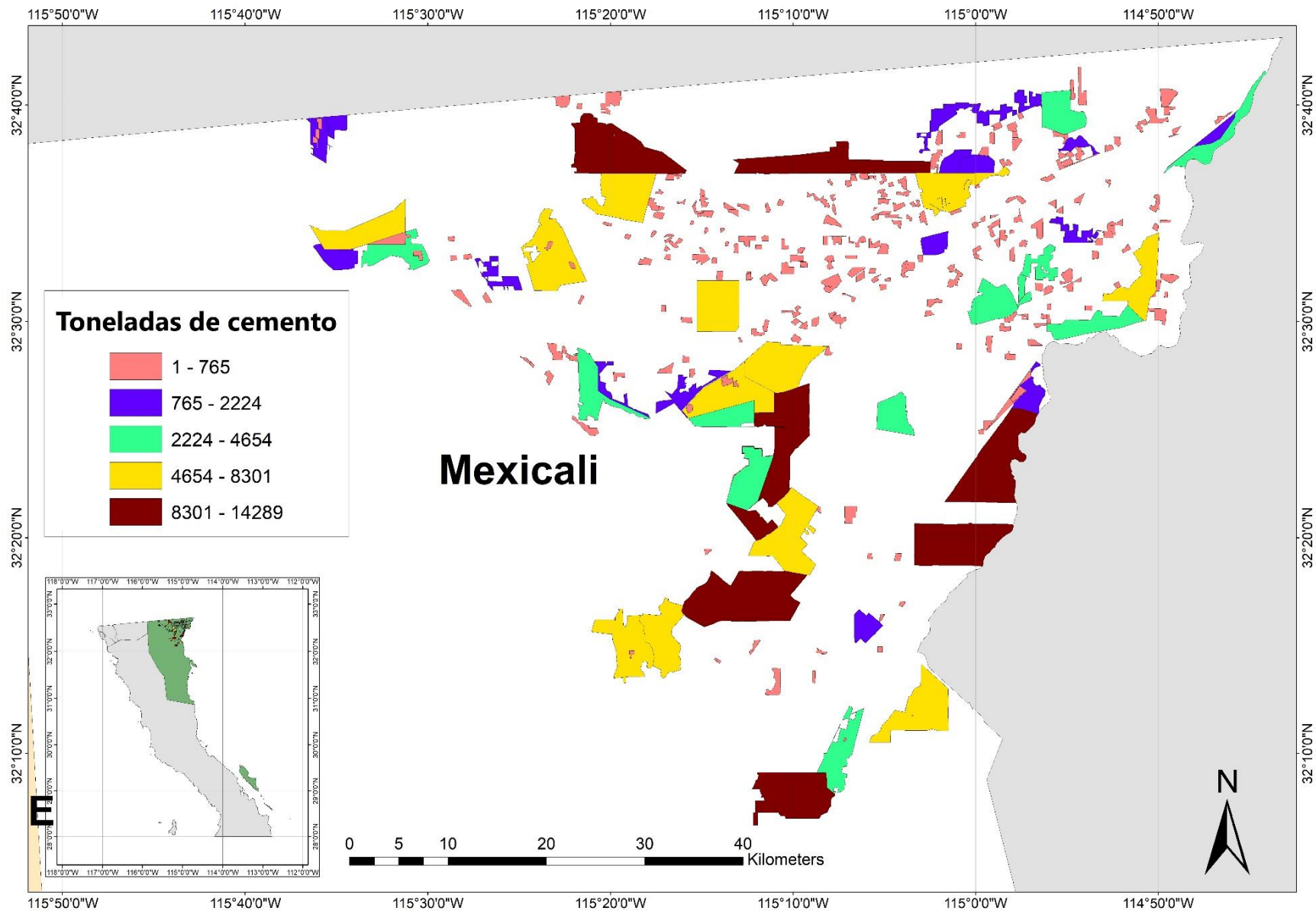


Figura 38. Toneladas de cemento con 10% de cenizas de vara de algodón

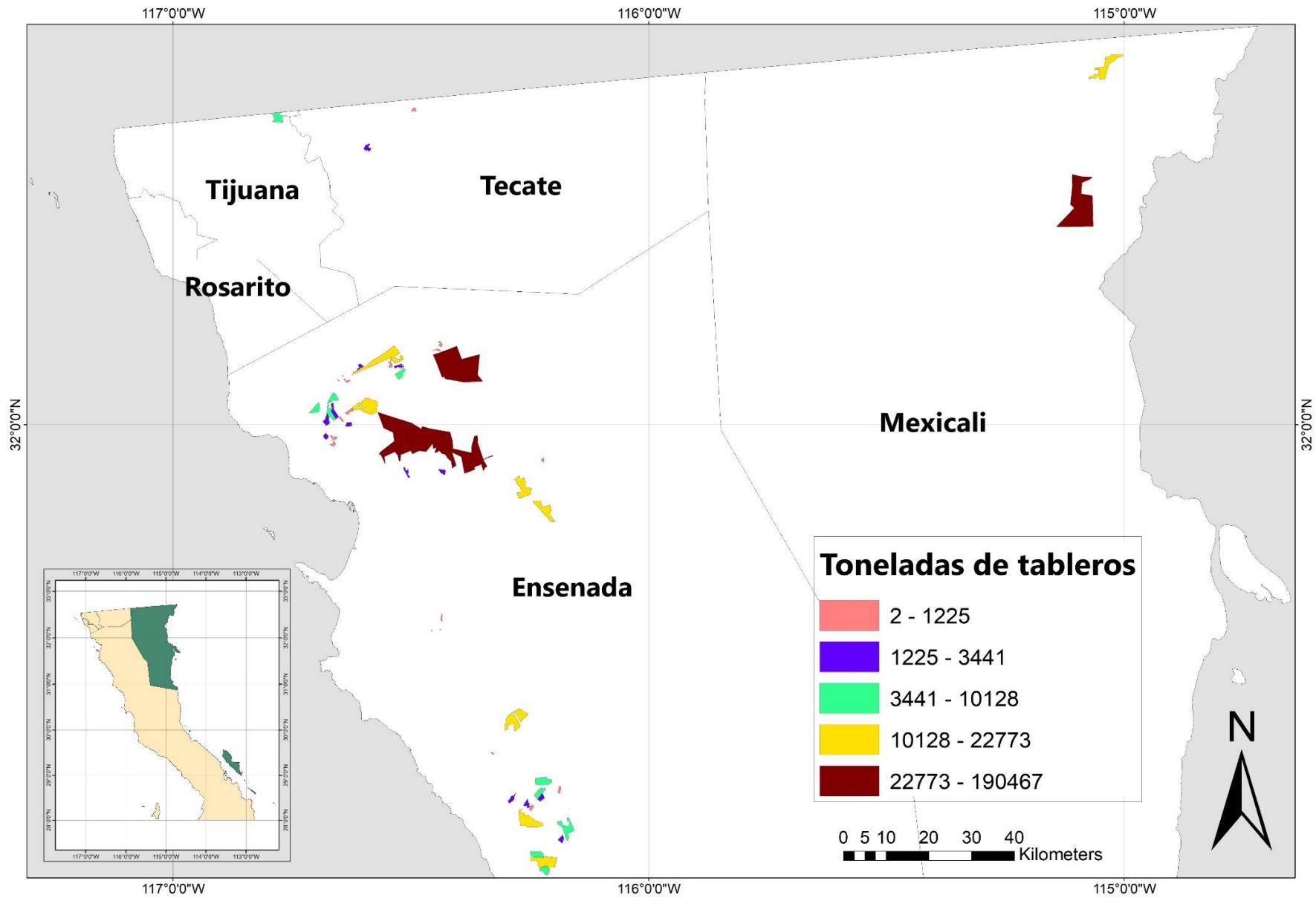


Figura 39. Toneladas de tableros con 25% de podas de vid

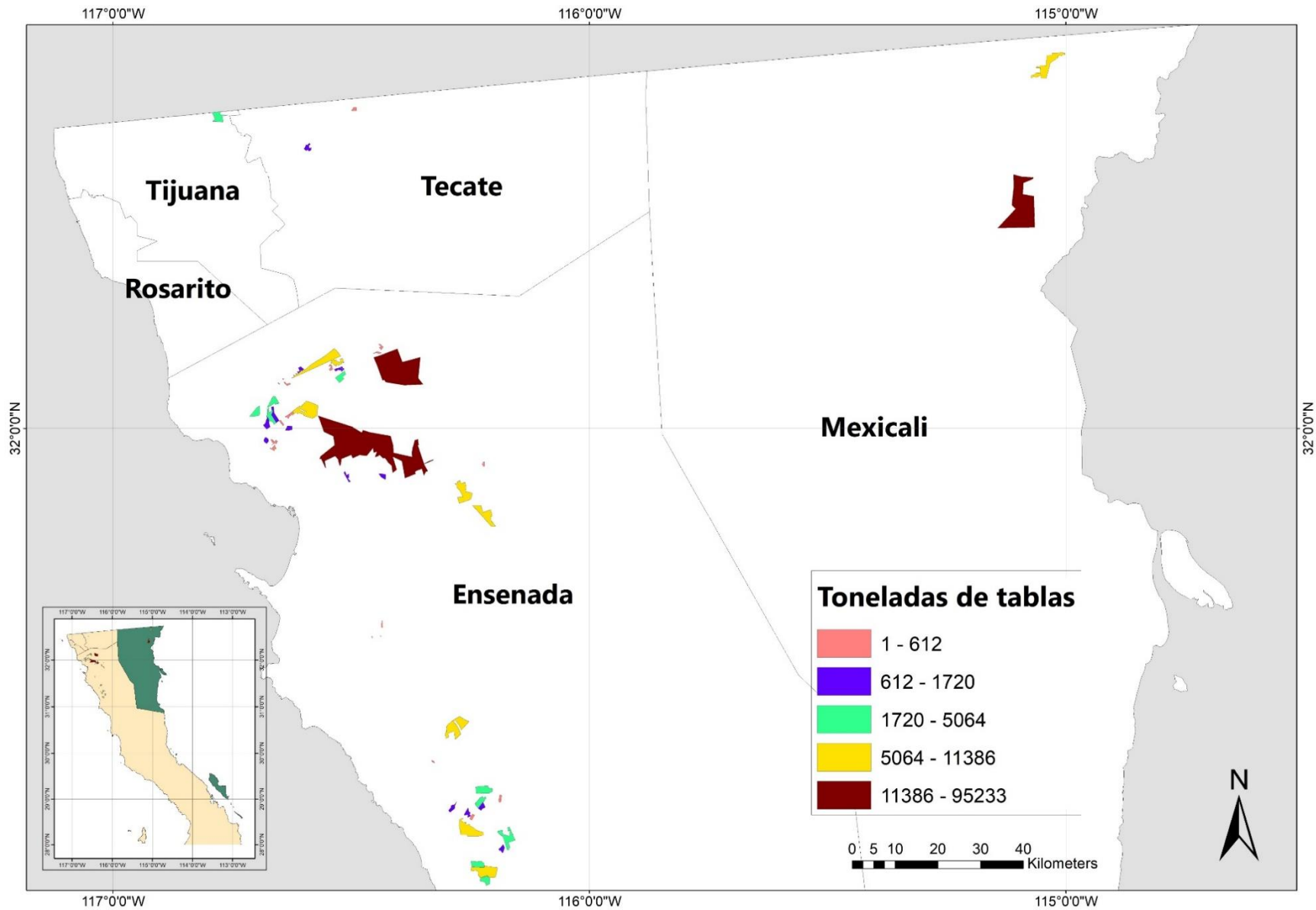


Figura 40. Toneladas de tablas con 50% de podas de vid

Alimento para rumiantes

Paja de trigo

Para la estimación de alimento para rumiantes utilizando paja de trigo con una proporción de 15% de paja de trigo y 85% de cebada, se determinó un total de 7,544,452.67 toneladas de alimento. Para el 70% de paja tratada con 30% de concentrado, se determinó un total de 1,616,668.43 toneladas de alimento. La distribución de 15% y 70% de reemplazo de paja de trigo se señalan en la Figura 41 y 42 respectivamente.

La Tabla 14 presenta el resumen de potencial de utilizar la biomasa residual como materia prima para material de construcción y alimento para rumiantes.

Tabla 14. Biomasa residual como materia prima para productos no energéticos

Biomasa	Generación (t)	Producto	Cantidad (t)
Paja de trigo	563,160.19	Madera plástica	2,045,678.34
		Alimento para rumiantes	1,616,668.43
Vara de algodón	36,124.47	Cemento	7,800,260.55
Bagazo de cebada cervecero	40.76	Ladrillo	1,630,364.0
Podas de vid	12,083.05	Tableros	592,395.40

De acuerdo con los resultados obtenidos, para el bioetanol se obtuvo un potencial de 6.73 PJ, mientras que para el potencial energético mediante torrefacción fue de 6.07 PJ. El total del potencial energético estimado, podría ayudar a aumentar en un 3.4% la participación de la biomasa en la producción de energía primaria en México.

Para las aplicaciones no energéticas de la biomasa se analizó como porcentaje de reemplazo en la alimentación de rumiantes. Considerando el potencial de alimento para rumiantes a partir de la paja de trigo, se estima que se pudo haber cubierto el 18% del alimento utilizando paja tratada y 85% de paja no tratada de alimentación de 14,736 ovinos en Baja California en el 2020 [84].

En el caso del uso de la biomasa residual como materia prima para material de construcción, se cuenta solo con el dato de producción de cemento en México de un total de 43,793,000.00 toneladas de cemento [85], del cual al utilizar podas de vid como material de reemplazo se podría cubrir 19.5% de la producción de cemento a nivel nacional.

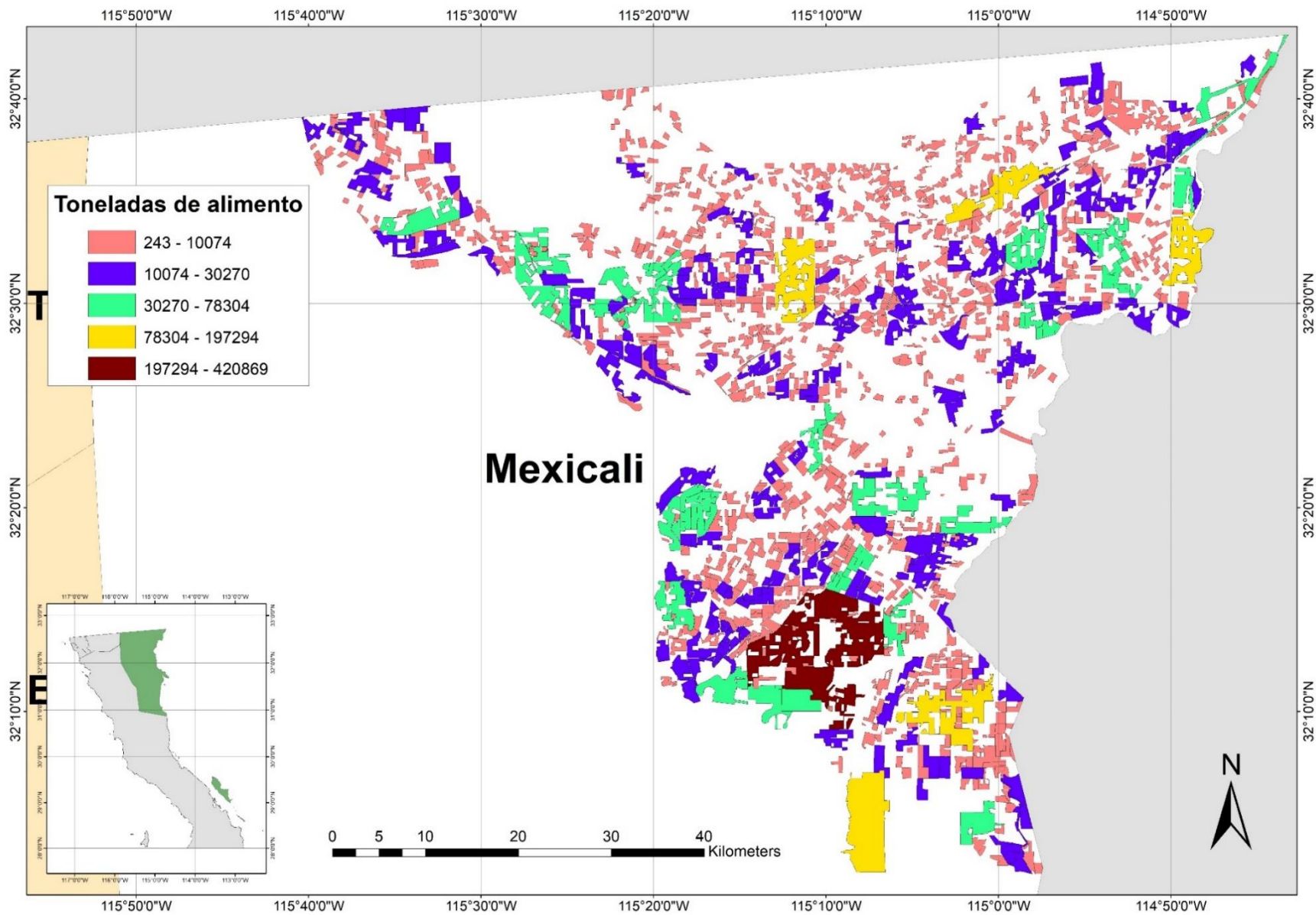


Figura 41. Toneladas de alimento con 15% de paja de trigo

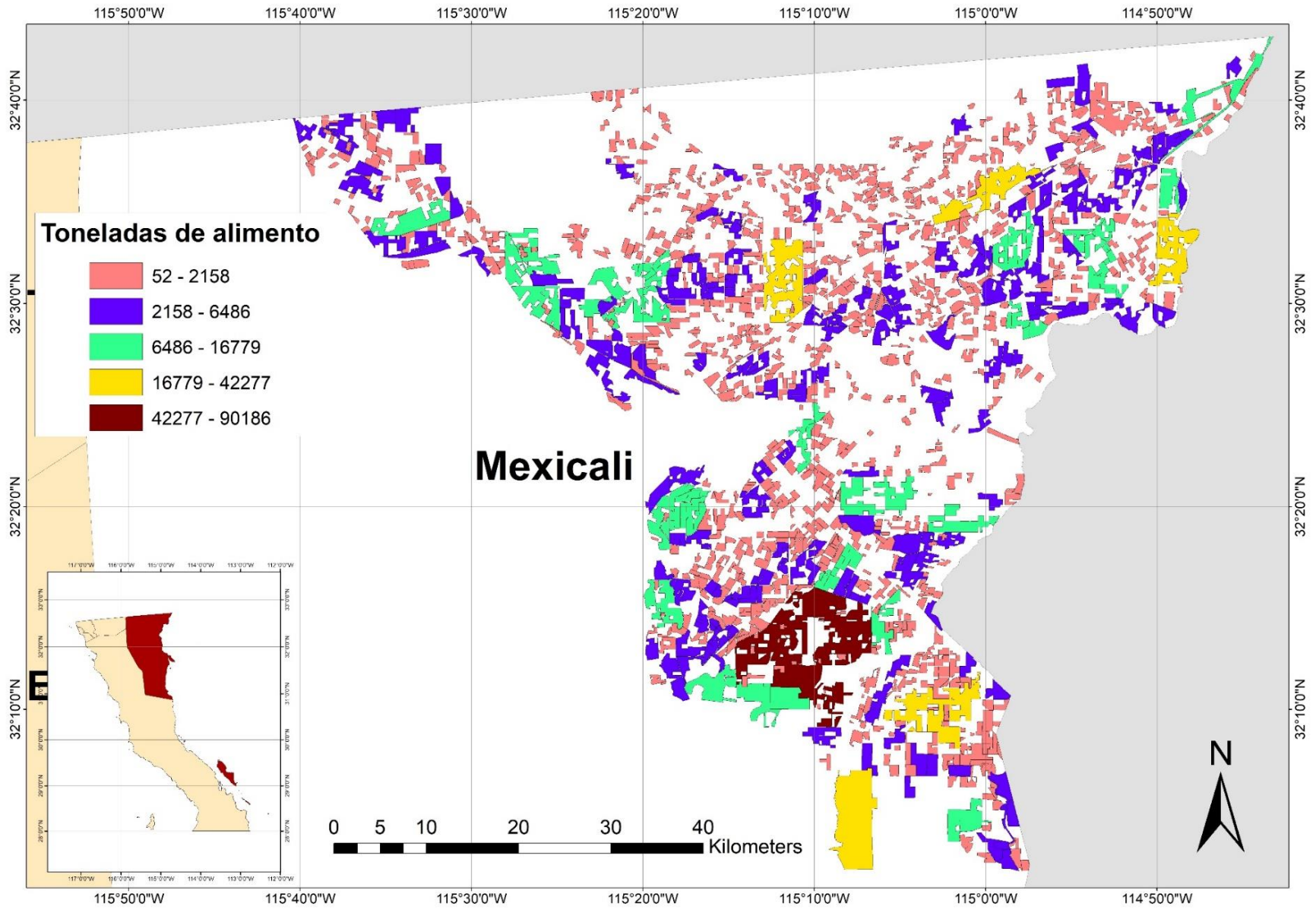


Figura 42. Toneladas de alimento con 70% de paja de trigo

La Figura 43 se presenta el mapa de potencial energético en Baja California

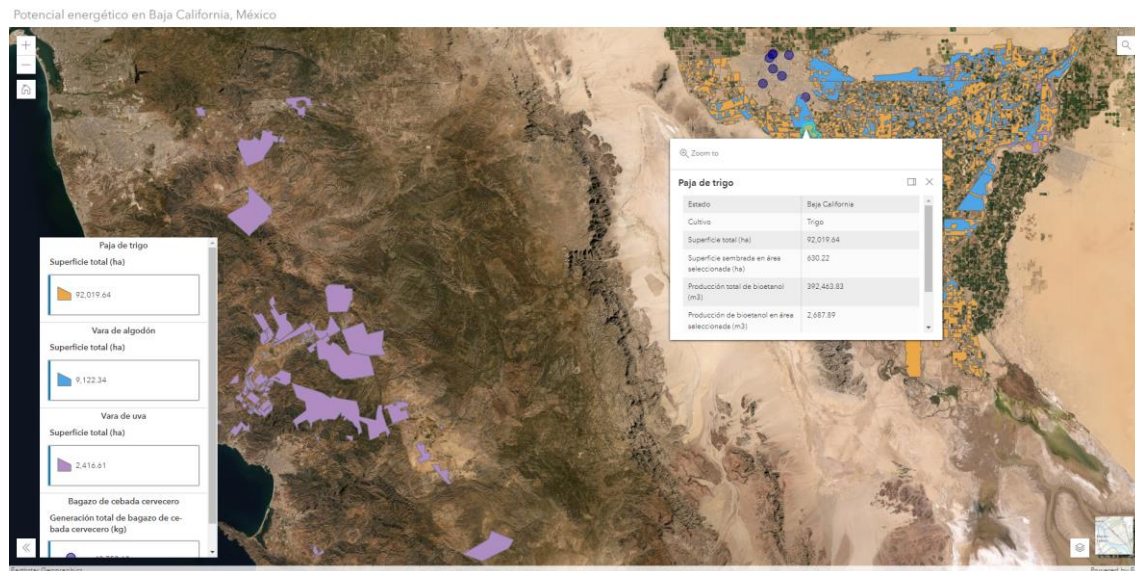


Figura 43. Mapa de potencial energético en aplicación web

Asimismo, se incluye el enlace a la aplicación de mapa web.

<https://www.arcgis.com/apps/instant/interactivelegend/index.html?appid=a273e45625f24b6e996ae7e1f2d5264e>

CONCLUSIONES

Mediante el trabajo realizado se obtuvo una herramienta digital la cual brinda mapas con información del potencial energético aprovechable mediante la obtención de bioetanol y por torrefacción de la biomasa residual generada en Baja California. La herramienta digital permite visualizar las zonas que presentan mayor generación de biomasa residual, contribuyendo a un mejor análisis, gestión y planeación en proyectos para su aprovechamiento.

Asimismo, la realización de este trabajo presenta la ventaja que al tener los mapas base de cada cultivo y la generación de biomasa residual, se puede actualizar la herramienta digital de acuerdo con el producto energético o no energético de interés.

Para la elaboración de la herramienta digital se localizaron geográficamente 563,160.19 t de paja de trigo, 36,124.47 t de vara de algodón, 12,083.05 t de podas de vid y 40.76 t de BCC generados en Baja California. La herramienta muestra el potencial de producción de bioetanol a partir de paja de trigo, vara de algodón y BCC con un total de 395,179.44 m³. Asimismo, se indica que se puede obtener un total de 6.07 PJ mediante torrefacción a partir de paja de trigo, vara de algodón y podas de vid. En total se estimó un potencial energético de 12.79 PJ a partir de la biomasa residual analizada.

Además del aprovechamiento energético, se elaboraron mapas utilizando la biomasa residual como materia prima para alimento de rumiantes y material de construcción. Al utilizar paja de trigo como alimento de reemplazo se pueden obtener de 1,616,668.43 a 7,544,452.67 t de alimento para rumiantes. Para el caso de material de construcción, se estimó un potencial de 1,022,839.17 a 2,045,678.34 t de madera plástica a partir de paja de trigo, de 258,962.41 a 7,800,260.55 t de cemento a partir de vara de algodón, 1,630,364 t de ladrillo a partir del BCC y de 296,197.7 a 592,395.4 t de tableros a partir de las podas de vid. Los resultados obtenidos se basaron en una metodología multicriterio apoyada en sistemas de información geográfica.

Uno de los retos importantes es la actualización de la herramienta digital, puesto que la información agrícola en México solo está disponible de manera tabulada, mientras que la información agrícola georreferenciada no se encuentra de forma abierta y/o actualizada.

De acuerdo con los resultados obtenidos, México tiene la capacidad de diversificar las fuentes de energía primaria utilizando biomasa residual. Asimismo, la biomasa residual se puede aprovechar como porcentaje de reemplazo para alimentar rumiantes y como materia prima en la elaboración de material de construcción.

REFERENCIAS

- [1] Coronado Ortega, Marcos Alberto, 2010, "Estudio de factibilidad de producción de energía a partir de aceite vegetal residual. Caso: sector restaurantero", tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California.
- [2] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. 2022. Mi parcela no se quema, disponible en <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/miparcelanosequema>
- [3] Secretaría de Agricultura y Desarrollo Social – Prensa. Registra Agricultura reducción del 25% en los puntos de calor en siete entidades federativas, disponible en: <https://www.gob.mx/agricultura/prensa/registra-agricultura-reduccion-del-25-en-los-puntos-de-calor-en-siete-entidades-federativas>
- [4] Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, Inventario nacional de emisiones de gases y compuestos de efecto invernadero (INEGYCEI), disponible en: <https://cambioclimatico.gob.mx/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero-2/>
- [5] Secretaría de Energía, 2019, "Balance Nacional de Energía".
- [6] Montañez OD, Ortega ME, Cobos MA, Larqué A, García JE. (2004). Efecto de la alimentación con paja de trigo tratada con *Pleurotus florida* en la flora ruminal de ovinos, Revista Cubana de Ciencia Agrícola, Tomo 38(3).
- [7] García-Velázquez, Ángel, María Guadalupe Amado-Moreno, Héctor Enrique Campbell-Ramírez, Reyna Arcelia Brito-Páez, Lydia Toscano-Palomar (2013). Madera plástica con paja de trigo y matriz polimérica, Tecnología en Marcha, 26(3), 2013, pp 26-37, ISSN 0379-3962
- [8] Cantor, Dana María, Manea, Daniela Lucia. 2015. Innovative Building Materials Using Agricultural Waste, Procedia Technology, 19, 456-462, ISSN 2212-0173, <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2015.02.065>
- [9] Herramientas tecnológicas en internet - EUROINNOVA, consultada en enero 2022, disponible en <https://www.euroinnova.mx/blog/herramientas-tecnologicas-en-internet#iquestqueacute-son-las-herramientas-tecnoloacutegicas>
- [10] BIONLINE - Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, España, consultada en enero 2022, disponible en <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biomasa/bionline>
- [11] Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, BIORAISE, la aplicación que calcula los recursos de biomasa, disponible en: <https://www.ciemat.es/cargarAplicacionNoticias.do?jsessionid=3B21FE76A158B3DC3193CF34B863F785?identificador=50>
- [12] Sistema de Información Ambiental Minero Energético, Atlas del potencial energético de la Biomasa residual en Colombia, disponible en: https://www1.upme.gov.co/siame/Documents/Atlas-Biomasa/2_Mapas_Sector_Agricola.pdf
- [13] Atlas Nacional de Biomasa - Secretaría de Energía, consultada en enero 2022, disponible en <https://www.gob.mx/sener/articulos/atlas-nacional-de-biomasa>
- [14] Boletín UNAM, consultada en enero 2022, disponible en https://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2020_971.html
- [15] Muñoz Meléndez, Gabriela, Díaz González, Eliseo, Campbell Ramírez, Héctor Enrique, Quintero Núñez, Margarito, 2012, "Baja California: perfil energético 2010-2020. Propuesta y análisis de indicadores energéticos para el desarrollo de prospectivas estatales", Comisión Estatal de Energía de Baja California.
- [16] Balat, Mustafa; Ayar, Günhan (2005). Biomass Energy in the World, Use of Biomass and Potential Trends. Energy Sources, 27(10), 931–940. doi:10.1080/00908310490449045
- [17] Biomass explain, U.S. Energy Information Administration, consultada en octubre 2020, disponible en <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/>
- [18] Biomass Energy Basics, National Renewable Energy Laboratory, consultada en octubre de 2020, disponible en <https://www.nrel.gov/research/re-biomass.html>

- [19] Total energy, U.S. Energy Information Administration, consultada en noviembre de 2020, disponible en <https://www.eia.gov/totalenergy/data/browser/index.php?tbl=T10.01#/?f=A&start=2011&end=2019&charted=6-7-8-9-14>
- [20] Sistema de Gestión de Información y Conocimiento en Fuentes No Convencionales de Energía Renovable, 2010, "Atlas potencial energético biomasa residual en Colombia", ISBN: 978-958-8504-59-9.
- [21] Moreno Camarena, Abigail, 2017, "Caracterización fisicoquímica e hidrólisis del bagazo cervecero para la obtención de azúcares reductores", tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California.
- [22] McKendry P., 2002, "Energy production from biomass (part 1): overview of biomass, Bioresource Technology, Vol. 83, Issue 1, p.p. 37-46
- [23] Montero, G., Coronado, M.A., Torres, R., Jaramillo, B., García, C., Stoytcheva, M., Vázquez, A.M., León, J., Lambert, A., Valenzuela, E., "Higher heating value determination of Wheat Straw from Baja California, Mexico", 2016, Energy, Vol. 109, p.p. 612-619, ISSN: 0360-5442.
- [24] Buendía Vergara Hernán de Jesús, "Obtención de gas de síntesis a partir de la gasificación del eucalipto y simulación del proceso en ASPEN PLUS®", tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California.
- [25] Technologies for converting waste agricultural biomass to energy, United Nations Environmental Programme, 2013, disponible en: <http://www.mag.go.cr/proyectos/proy-residuos-agricolas-org/materiales/Tecnologies%20for%20convertin%20wab%20to%20energy.pdf>
- [26] Banquez Sanmartin María Francis, "Caracterización fisicoquímica de residuos agrícolas de Baja California: podas de vid, cáscara y torta de higuera", tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California.
- [27] Contreras, E., Pacheco, J.F., Manual metodológico de evaluación multicriterio para programas y proyectos, 2008, CEPAL - Serie Manuales No. 58, ISSN: 1680-8878.
- [28] INEGI, 2016, Actualización del Marco Censal Agropecuario, disponible en: <https://www.inegi.org.mx/programas/amca/2016/>
- [29] Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria, 2018, Directorio de rastros y/o centros de matanza.
- [30] Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas, consultada en noviembre 2018. <http://www.beta.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>
- [31] Secretaría de Desarrollo Social, Dirección General de Equipamiento e Infraestructura en Zonas Urbano-Marginadas, 2013, "Generación de residuos sólidos urbanos por composición", México.
- [32] Aznar B., J., Guijarro M., F., Nuevos métodos de valoración, Modelos multicriterio, documento en línea, consultado en abril del 2019.
- [33] ArcGIS Resources, consultada en abril de 2018, disponible en <https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n000000t000000.htm>
- [34] Sistemas de información geográfica, consultada en abril de 2018, disponible en <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/SIG/Introduccion-SIG.html>
- [35] Malczewski J., 1996, "A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making", International Journal of Geographical Information Systems, vol. 10, no. 8, pp. 955-971.
- [36] Aguilar Rivera, Noé, Galindo Mendoza, Guadalupe, Fortanelli Martínez, Javier, Contreras Servín, Carlos, 2010, "Evaluación multicriterio y aptitud agroclimática del cultivo de caña de azúcar en la región Huasteca (México), Revista Carpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria, vol. 11, no. 2, pp. 144-154.
- [37] Farid Talebnia, Dimitar Karakashev, Irini Angelidaki, 2010, "Production of bioethanol from wheat straw: An overview on pretreatment, hydrolysis and fermentation", Bioresource Technology, vol. 101, p.p. 4744-4753
- [38] Lukáš Krátký, Tomáš Jirout, 2013, "The effect of mechanical disintegration on the biodegradability of wheat straw", Inżynieria i Aparatura Chemiczna, vol. 52 (3), p.p. 202-203
- [39] Lukáš Krátký, Tomáš Jirout, 2011, "Biomass Size Reduction Machines for Enhancing Biogas Production", Chemical Engineering Technology, vol. 34 (3), p.p. 391-399.

- [40] Edgars Vigants, Girts Vigants, Ivars Veidenbergs, Dace Lauka, Krista Klavina, Dagnija Blumberga, 2015, "Analysis of Energy Consumption for Biomass Drying Process", Environment. Technology. Resources, Proceedings of the 10th International Scientific and Practical Conference, vol 2, p.p. 317-322
- [41] Mohammad Ali Abdoli, Abooli Golzary, Ashkan Hosseini, Pourya Sadeghi, 2018, "Wood Pellet Production Process", en Wood Pellet as a Renewable Source of Energy. From Production to Consumption, Springer, p.p. 61-85
- [42] Juan Carrasco García, "Combustión directa de la biomasa", Tesis Master en Energías Renovables y Mercado Energético.
- [43] Saad A El-Sayed, Mohammed Khairy Elsaid Mohamed, 2018, "Mechanical properties and characteristics of wheat straw and pellets", Energy & Environment, p.p. 1-23
- [44] Neethi Manickam, D. Ravindran, P. Subramanian, 2006, "Biomass Densification Methods and Mechanism", Cogeneration & Distributed Generation Journal, vol. 21 (4), p.p. 33-45
- [45] Wolfgang Stelte, Anand R. Sanadi, Lei Shang, Jens K. Holm, Jesper Ahrenfeldt, Ulrik B. Henriksen, 2012, "Recent Developments In Biomass Pelletization – A Review", BioResources, vol. 7(3), p.p. 4451-4490
- [46] K. Merklein, S.S. Fong, Y. Deng, 2016, "Biomass Utilization", en Biotechnology for Biofuel Production and Optimization, p.p. 291-324
- [47] F. Carvalheiro, L.C. Duarte, F. Gírio, P. Moniz, 2016, "Hydrothermal/Liquid Hot Water Pretreatment (Autohydrolysis): A Multipurpose Process for Biomass Upgrading", en Biomass Fractionation Technologies for a Lignocellulosic Feedstock Based Biorefinery, p.p. 315-347
- [48] Dong Tiana, Fei Shen, Gang Yang, Shihuai Deng, Lulu Long, Jinsong He, Jing Zhang, Churui Huang, Ling Luo, 2019, "Liquid hot water extraction followed by mechanical extrusion as a chemical free pretreatment approach for cellulosic ethanol production from rigid hardwood", Fuel, vol. 252, p.p. 589-597
- [49] Wolfgang Stelte, "Steam explosion for biomass pre-treatment", Danish Technological Institute
- [50] Shuchi Singh, Arun Goyal, Vijayanand S. Moholkar, 2018, "Synthesis of Bioethanol From Invasive Weeds: Process Design, Optimization, and Intensification With Ultrasound", Waste Biorefinery: Potential and Perspectives, p.p. 445-485
- [51] Venkatesh Balan, Bryan Bals, Shishir P.S. Chundawat, Derek Marshall, and Bruce E. Dale, 2009, "Lignocellulosic Biomass Pretreatment Using AFEX", Biofuels: Methods and protocols, Methods in Molecular Biology, vol. 581, p.p. 61-77
- [52] A. Shahbazi, B. Zhang, 2010, "Dilute and concentrated acid hydrolysis of lignocellulosic biomass", en Bioalcohol Production: Biochemical Conversion of Lignocellulosic Biomass, p.p. 143-158
- [53] J.-K. Xu, R.-C. Sun, 2016, "Recent Advances in Alkaline Pretreatment of Lignocellulosic Biomass", en Biomass Fractionation Technologies for a Lignocellulosic Feedstock Based Biorefinery, p.p. 431-459
- [54] Gary D. McGinnis, Wilber W. Wilson, Shawn E. Prince, Chyl-Cheng Chenx, 1983, "Conversion of Biomass into Chemicals with High-Temperature Wet Oxidation", Industrial & Engineering Chemistry Product Research and Development, vol. 22 (4), p.p. 633-636
- [55] BoWang, Junnian Songa, Jingzheng Ren, Kexin Li, Haiyan Duan, Xian'en Wang, 2019, "Selecting sustainable energy conversion technologies for agricultural residues: A fuzzy AHP-VIKOR based prioritization from life cycle perspective", Resources, Conservation and Recycling, Vol. 42, p.p. 78-87
- [56] R. Saidur, E.A. Abdelaziz, A. Demirbas, M.S. Hossain, S. Mekhilef, 2011, "A review on biomass as a fuel for boilers", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 15, issue 5, p.p. 2262-2289
- [57] Man KeeLam, Adrian Chun MinhLoy, SuzanaYusup, Keat TeongLee, 2019, "Biohydrogen Production From Algae", chapter 9, Biohydrogen (Second Edition), p.p. 219-245
- [58] Antonio Molino, Simeone Chianese, Dino Musmarra, 2016, "Biomass gasification technology: The state of the art overview", Journal of Energy Chemistry, vol. 25, issue 1, p.p. 10-25
- [59] Torres Ramos, Ricardo, "Caracterización fisicoquímica de residuos agrícolas del Valle de Mexicali: paja de trigo y vara de algodón", tesis de maestría, Universidad Autónoma de Baja California.
- [60] ESRI. 2021. Qué es un shapefile. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/shapefiles/what-is-a-shapefile.html>

- [61] Clasificación de imágenes con la ArcGIS Spatial Analyst extensión, consultada en noviembre de 2020, disponible en <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/guide-books/extensions/spatial-analyst/image-classification/image-classification-using-spatial-analyst.html>
- [62] ESRI. 2021. ¿Qué son los datos ráster? Disponible en <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/raster-and-images/what-is-raster-data.htm>
- [63] Faba Laura, Díaz Eva, Ordóñez Salvador, 2014, "Transformación de biomasa en biocombustibles de segunda generación", Madera y Bosques, vol. 20 (3), p.p. 11-24
- [64] Torres R. 2019. Torrefacción de biomasa residual para la obtención de combustibles sólidos (Tesis de Doctorado), Universidad Autónoma de Baja California.
- [65] López-Clemente, Xicoténcatl Arturo; Robles-Pérez, Celerino; Velasco-Velasco, Vicente Arturo; Ruiz-Luna, Judith; Enríquez-del Valle, José Raymundo y Rodríguez-Ortiz, Gerardo (2015). Propiedades físicas, químicas y biológicas de tres residuos agrícolas compostados, Ciencia Ergo Sum, 22(2), 1pp 145-152, ISSN: 1405-0269
- [66] García Rollan, Mariano (1983). Mejora de la paja como alimento del ganado, Hojas divulgadoras, ISBN: 978-84-341-0346-7
- [67] Petersen MØ, Larsen J, Thomsen MH. 2009. Optimization of hydrothermal pretreatment of wheat straw for production of bioethanol at low water consumption without addition of chemicals, Biomass and Bioenergy, 33, 934-840. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.01.004>
- [68] Jiang W, Chang S, Li H, Oleskowicz-Popiel P, Xu J. 2015. Liquid hot water pretreatment on different parts of cotton stalk to facilitate ethanol production, Bioresource Technology, 176, 175-180. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.11.023>
- [69] McAllister S, Chen JY, ernandez-Pello AC. 2011. Properties of fuels in Fundamentals of Combustion Processes, Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4419-7943-8>
- [70] Basu, P. 2013. Torrefaction in Biomass Gasification, Pyrolysis and Torrefaction, Elsevier, 87-145. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-07564-6>
- [71] SEMARNAT. 2016. Determinación de factores de emisión de bióxido de carbono (CO₂), partículas en suspensión de 2.5 y 10 micras (PM_{2.5} y PM₁₀) y contaminantes de vida corta, metano (CH₄) y carbono negro por prácticas de quema agrícola.
- [72] Chen, Guo-xin; Wang, Jia-hui; Chen, Liang-liang and Lv, Xin-min (2014). Cotton stalks cement-based block material and its preparation method, Applied Mechanics and Materials (volumes 584-586)
- [73] Saad Agwa, Ibrahim; Mohamed Omar, Omar; Tayeh, Bassam A.; Abdelsalam Abdelsalam, Bassam (2020). Effects of using rice straw and cotton stalk ashes on the properties of lightweight self-compacting concrete, Construction and Building Materials, 235, ISSN: 0950-0618
- [74] Pregon agropecuario, 2017, Bagazo de cebada, una alternativa para alimentar al ganado, disponible en <https://www.pregonagropecuario.com/cat.php?txt=10284>
- [75] Gisela Montero, Marcos Coronado, Conrado García, Margarita Stoytcheva, Abigail Moreno, José Ayala, José León, Daniela Montes, "Energía recuperable de residuos urbanos en Mexicali, proyección hacia el año 2030", 2018, Medio Ambiente Urbano, Editorial UABC, p.p. 93-108, ISBN: En trámite.
- [76] Martínez, M. L.; Eliche, D.; Cruz, N; Corpas, F. A. (2012). Utilization of bagasse from the beer industry in clay brick production for building, Materiales de Construcción, 62(306), 199-212.
- [77] Xiros C, Christakopoulos P. 2009. Enhanced ethanol production from brewer's spent grain by a Fusarium oxysporum consolidated system, Biotechnology for Biofuels, 2(4). <https://doi.org/10.1186/1754-6834-2-4>
- [78] Myrto-Panagiota Zacharof, 2017, "Grape Winery Waste as Feedstock for Bioconversions: Applying the Biorefinery Concept", Waste and Biomass Valorization, vol 8, p.p. 1011-1025
- [79] Wong, Marcus C.; Hendrikse, Simone I.S.; Sherrell, Peter C.; Ellis, Amanda V. (2020). Grapevine waste in sustainable hybrid particleboard production, Waste Management, 118, pp 501-509, ISSN: 0956-053X
- [80] Ntalos, Georgios A., Grigoriou, Athanasios H. 2002. Characterization and utilisation of vine prunings as a woodsubstitute for particleboard production, Industrial Crops and Products, 16, 59-68

- [81] Saval, Susana, 2012, "Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro", Revista de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A.C., vol. 16, no. 2, pp. 14–46.
- [82] ESRI. 2021. ¿Qué son las tablas y la información de atributos? Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/manage-data/tables/what-are-tables-and-attribute-information.html>
- [83] ESRI. 2021. ArcGIS Web AppBuilder. Disponible en: <https://doc.arcgis.com/es/web-appbuilder/create-apps/what-is-web-appbuilder.html>
- [84] Sistema de Información Agroalimentaria de Consulta (SIACON) - SIAP 2020
- [85] S&P Global Ratings, Industria cementera en México: sin señales de recuperación a pesar de tocar fondo el año pasado, enero 2020, disponible en: <https://www.spglobal.com/assets/documents/ratings/es/2020-01-22-industria-cementera-mexico.pdf>

PRODUCCIÓN ACADÉMICA

PRODUCCIÓN ACADÉMICA

a) Artículos en revistas

Primer autor

1. **Montes-Núñez DG**, Montero-Alpírez G, Coronado-Ortega MA, Ayala-Bautista JR, León-Valdez JA, Vázquez-Espinoza AM, Torres-Ramos R, García-González C. 2022. From seeds to bioenergy: a conversion path for castor and jatropha seeds valorization. *Grasas Aceites* 73 (4), e482. <https://doi.org/10.3989/gya.0571211>

Co-autor

1. León, J.A.; Montero, G.; Coronado, M.A.; Ayala, J.R.; **Montes, D.G.**; Pérez, L.J.; Quintana, L.; Armenta, J.M. Thermodynamic Analysis of Waste Vegetable Oil Conversion to Biodiesel with Solar Energy. *Energies* 2022, 15, 1834. <https://doi.org/10.3390/en15051834>
2. José R. Ayala, Gisela Montero, Marcos A. Coronado, Conrado García, Mario A. Curiel-Alvarez, José A. León, Carlos A. Sagaste and **Daniela G. Montes**, 2021, "Characterization of Orange Peel Waste and Valorization to Obtain Reducing Sugars", *Molecules*, 26(5), Editorial MDPI, ISSN: 1420-3049, IF: 3.267, DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules26051348>
3. Marcos A. Coronado, Conrado García, Gisela Montero, José R Ayala, Laura K Cervantes, **Daniela G Montes**, José Á León, Ricardo Torres, Carlos A Sagaste, 2020, "Assessment and potential-site determination of a wheat straw power plant by Aspen Plus and multi-criteria GIS model", *Waste Management & Research*, Editorial SAGE Journals, Online ISSN: 1096-3669, ISSN: 0734-242X, IF: 2.771, DOI: <https://doi.org/10.1177/0734242X20978288>
4. Marcos A. Coronado, Gisela Montero, **Daniela G. Montes**, Benjamín Valdez-Salas, José R. Ayala, Conrado García, Mónica Carrillo, José A. León, Abigail Moreno, 2020, "Physicochemical Characterization and SEM-EDX Analysis of Brewer's Spent Grain from the Craft Brewery Industry", *Sustainability*, Editorial MDPI, ISSN: 2071-1050, IF: 2.576, DOI: <https://doi.org/10.3390/su12187744>
5. Carlos Sagaste, Gisela Montero, Marcos A. Coronado, José R. Ayala, José A. León, Conrado García, Benjamín A. Rojano, Stephania Rosales, **Daniela G. Montes**, 2019, "Creosote Bush (*Larrea tridentata*) Extract Assessment as a Green Antioxidant for Biodiesel", *Molecules*, Editorial MDPI, ISSN: 1420-3049, IF: 3.267 DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24091786>
6. Participé como coautora del artículo en revisión: "Biomass simulation: Orange and eucalyptus waste as a source of essential oil using solar energy", Jesus M. Armenta, José Ramón Ayala, Marcos A. Coronado, Gisela Montero, **Daniela Montes Núñez**,

Carlos Sagaste. Chemical Engineering & Technology, IF: 1.728, ISSN 1521-4125, Wiley Online Library.

b) Capítulo de libro

1. Participación como primer autor del capítulo de libro "Potential energy of bioethanol and biodiesel from residual biomass in Baja California", **Daniela G. Montes**, Lisandra Quintana, Jesús Armenta, Iracema Valenzuela and Edson Armenta, el cual será considerado para publicarse en el libro "Biomass: The novel green gold – Current trends and future uses of biomass resources", Editores Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega and Dr. José Ramón Ayala Bautista, editorial Nova Science Publishing.
2. Participación como co-autor del capítulo "Date palm (phoenix dactylifera) seed as a source of biomass for extraction of phytochemical compounds for green chemistry applications", Ana María Vazquez-Espinoza, Conrado García-González, Ricardo Salomón-Torres, Armando Pérez-Sanchez, **Daniela Montes-Nuñez**, el cual será considerado para publicarse en el libro "Biomass: The novel green gold – Current trends and future uses of biomass resources", Editores Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega and Dr. José Ramón Ayala Bautista, editorial Nova Science Publishing.

c) Propiedad Intelectual

1. Edson Armenta, José Ramón Ayala, Marcos Coronado, Gisela Montero, **Daniela Montes**, "Extracción de aceite esencial de cítricos", obra literaria, no. de registro INDAUTOR 03-2021-100613114100-01, octubre 2021.
2. Marcos Coronado, Conrado García, Gisela Montero, **Daniela Montes**, Lisandra Quintana, "Evaluación multicriterio para el aprovechamiento de biomasa residual de Baja California", obra literaria, no. de registro INDAUTOR 03-2019-032810121300-01, abril 2019.
3. Marcos Coronado, Conrado García, Gisela Montero, **Daniela Montes**, Lisandra Quintana, "Rol de la logística en la recuperación de residuos en las cadenas de suministro", obra literaria, no. de registro INDAUTOR 03-2019-032810041100-01, abril 2019.

d) Proyectos de investigación

1. Proceso de extracción de aceite esencial de cáscara de naranja y hoja de eucalipto utilizando ASPEN PLUS y TRANSYS. Instituto de Ingeniería, asociado, vigencia: 2021-2 a 2022-1.

2. Parámetros significativos en la hidrólisis acida de cascara de naranja para la producción de azúcares reductores. Instituto de Ingeniería, asociado, vigencia: 2020-2 a 2021-2.
3. Divulgación de conocimiento científico y tecnológico por medio del programa mujeres en la investigación del Instituto de Ingeniería UABC. Instituto de Ingeniería, asistente de investigación, vigencia: 2019-1 a 2021-1.

e) Asistencia a cursos

1. English language conventions through Reading and writing certification course, impartido por San Diego State University, enero 2021.
2. Introduction to sustainability, impartido por la Universidad de Illinois a través de Coursera, agosto 2020.
3. Curso general de propiedad intelectual, impartido por la Academia de la OMPI, impartido del 2 de abril al 19 de mayo de 2019.
4. Cursos especializados sobre Propiedad Industrial, impartido del 9 al 24 de agosto 2018 en el Instituto de Ingeniería.

ANEXOS

ARTÍCULO EN REVISTAS

Dr. G. Montero-Alpírez. Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería, Mexicali, B.C., México. Corresponding author:
gmontero@uabc.edu.mx

Seville, 18 November 2021

Dear Dr. G. Montero-Alpírez:

We are pleased to inform you that your manuscript: “**From seeds to bioenergy: a conversion path for castor and jatropha seeds valorization**” has been accepted for publication in *Grasas y Aceites* and it has been scheduled to appear in the issue 4: October-December of 2022.

You will be contacted about the end of that same quarter by *Grasas y Aceites* regarding the **page proofs** for your paper.

The DOI of this article will be: <https://doi.org/10.3989/gya.0571211>, and will be active the day of its publication OnlineFirst on our website <http://grasasyaceites.revistas.csic.es>. You will receive a notice on the same day.

We ask you to cite your article in our journal, in all your future publications (also from now: **in press**): **Citation/Cómo citar este artículo:**

Montes-Núñez DG, Montero-Alpírez G, Coronado-Ortega MA, Ayala-Bautista JR, León-Valdez JA, Vázquez-Espinoza AM, Torres-Ramos R, García-González C. 2022. From seeds to bioenergy: a conversion path for castor and jatropha seeds valorization. *Grasas Aceites* 73 (4), e482. <https://doi.org/10.3989/gya.0571211>

Sincerely,

Dr. José M. García

1 **From seeds to bioenergy: a conversion path for castor and jatropha**
2 **seeds valorization**

3 D.G. Montes-Núñez^a, G. Montero-Alpírez^{a, ✉}, M.A. Coronado-Ortega^a, J.R. Ayala-
4 Bautista^a, J.A. León-Valdez^a, A.M. Vázquez-Espinoza^b, R. Torres-Ramos^c and C.
5 García-González^a

6 ^aUniversidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería, Mexicali, B.C., México.

7 ^bUniversidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería y Negocios, Mexicali, B.C.,
8 México.

9 ^cUniversidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ciencias Agrícolas, Mexicali, B.C.,
10 México.

11 ✉Corresponding author: gmontero@uabc.edu.mx

12
13 **SUMMARY:** The world energy matrix can be diversified with biodiesel from castor and
14 jatropha oil. Hence, the objective was to assess a conversion path for castor and jatropha seeds
15 valorization. Results showed the maximum extraction of castor oil at 90°C, 2 rpm, and 6 mm
16 nozzle, achieving a yield of 36.97% and for the jatropha oil at 100°C, 1.5 rpm, and 10 mm
17 nozzle, achieving a yield of 20.11%. The acid value and cloud point of castor and jatropha oil
18 were 0.797 and 23.44 mg KOH/g, 10±1°C and 12±0.55°C, respectively, while the pour point
19 was -3°C for both. The acid value and cloud point for biodiesels ranged from 0.26 - 0.43 mg
20 KOH/g, and -12.50 - 6.10°C, respectively. Viscosity of oils and biodiesel ranged from 0.02 - 1.3
21 P. GC-MS indicated 66.38% of methyl ricinoleate in castor biodiesel and 31.64% of methyl
22 oleate in jatropha biodiesel. The HHV for castor and jatropha biodiesel ranged from 32.37 -
23 40.25 MJ/kg.

24
25 **KEYWORDS:** *Biodiesel; Castor; Jatropha; Seeds; Valorization.*

26 **RESUMEN:** La matriz energética mundial puede diversificarse con biodiesel de higuera y de
27 jatropha. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la ruta de conversión de las semillas
28 de higuera y jatropha. Los resultados mostraron que la máxima extracción de aceite de
29 higuera se dio a 90°C, 2 rpm, y boquilla de 6 mm, alcanzando un rendimiento de 36.97% y
30 para el aceite de jatropha fue a 100°C, 1.5 rpm, y boquilla de 10 mm, obteniendo un
31 rendimiento de 20.11%. El índice de acidez y punto de nube del aceite de higuera y jatropha
32 fue de 0.797 y 23.44 mg de KOH/g, 10 ± 1°C y 12 ± 0.55°C, respectivamente, mientras que el
33 punto de fluidez fue de -3 °C para ambos. El índice de acidez y el punto de nube del biodiésel
34 de higuera y jatropha fueron 0.43 y 0.26 mg KOH/g, -12.50°C y 6.10°C, respectivamente. La
35 viscosidad dinámica de los aceites y el biodiesel osciló entre 0.02 y 1.3 P. El análisis GC-MS
36 indicó 66.38% de ricinoleato de metilo en biodiesel de higuera y 31.64% de oleato de metilo
37 en biodiesel de jatropha. El HHV para el biodiésel de higuera y jatropha osciló entre 32.37 y
38 40.25 MJ/kg.

39 **PALABRAS CLAVE:** *Biodiesel; Higuera; Jatropha; Semillas; Valorización.*

40 **ORCID ID:** Montes-Núñez DG <http://orcid.org/0000-0002-1195-2176>, Montero-Alpírez G
41 <http://orcid.org/0000-0002-4659-0099>, Coronado-Ortega MA <http://orcid.org/0000-0002-4045-4272>,
42 Ayala-Bautista JR <http://orcid.org/0000-0003-4656-8155>, León-Valdez JA
43 <http://orcid.org/0000-0003-0033-8864>, Vázquez-Espinoza AM <https://orcid.org/0000-0003->








44 4333-2358, Torres-Ramos R <https://orcid.org/0000-0002-2529-926X>, García-González C
45 <https://orcid.org/0000-0002-9913-2905>

46

47

Article

Thermodynamic Analysis of Waste Vegetable Oil Conversion to Biodiesel with Solar Energy

José A. León , Gisela Montero *, Marcos A. Coronado , José R. Ayala , Daniela G. Montes ,
Laura J. Pérez , Lisandra Quintana  and Jesús M. Armenta

Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Boulevard Benito Juárez y Calle de la Normal S/N, Colonia Insurgentes Este, Mexicali 21280, Mexico; jose.leon30@uabc.edu.mx (J.A.L.); marcos.coronado@uabc.edu.mx (M.A.C.); ramon.ayala@uabc.edu.mx (J.R.A.); dmontes35@uabc.edu.mx (D.G.M.); lperez7@uabc.edu.mx (L.J.P.); quintana.lisandra@uabc.edu.mx (L.Q.); a1174515@uabc.edu.mx (J.M.A.)

* Correspondence: gmontero@uabc.edu.mx

Abstract: Exergy and energy analyses of two biodiesel production processes that integrate solar energy as the main energy source were developed to determine the process with the higher efficiency from an energy and exergy approach. The biodiesel production processes were simulated in ASPEN PLUS[®] and the solar energy supply was studied in TRNSYS[®], using EXCEL[®] simultaneously for the exergetic analysis. The solar thermal energy collection system can supply 81% of the energy required by the alkali process in the Flash separation equipment. For the supercritical process, solar thermal energy can supply 74.5% of the energy in the preheating and separation stages. The energy efficiency of the supercritical process is higher; nevertheless, the exergetic efficiency of the alkaline process is higher than the supercritical one. Solar collection systems contribute from 85% to 93% of the exergy destroyed by the global process for both cases. The alkaline biodiesel production process has the highest advantages when using solar energy as the main source of energy, compared to a process in supercritical conditions that presents greater irreversibilities and requires more infrastructure to collect the solar resource. However, using solar energy as the foremost energy source offers an alternative to fossil fuels, and it provides an environmental benefit concurrently with the use of biodiesel.

Keywords: solar energy; energy analysis; exergy analysis; renewable energy; sustainability



Citation: León, J.A.; Montero, G.; Coronado, M.A.; Ayala, J.R.; Montes, D.G.; Pérez, L.J.; Quintana, L.; Armenta, J.M. Thermodynamic Analysis of Waste Vegetable Oil Conversion to Biodiesel with Solar Energy. *Energies* **2022**, *15*, 1834. <https://doi.org/10.3390/en15051834>

Academic Editor: Audrius Bagdanavicius

Received: 20 January 2022

Accepted: 24 February 2022

Published: 2 March 2022

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2022 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction






Approximately 86.4% of the energy resources required by man are supplied by fossil fuels, which has increased environmental and health problems worldwide [1]. By 2030, the transport sector will consume the same amount of fossil fuels that all sectors consumed in 2003 worldwide, approximately 55,029 Mtoe [2].

The heating process constitutes more than 35% of the energy consumed industrially in the world, commonly the temperature of the heat supply of industrial processes is below 400 °C, and approximately 80% of the energy used to produce it comes from natural gas and petroleum derivatives [3]. Therefore, the consumption of renewable energies such as solar, wind, hydraulic, and biomass energy is very relevant. Solar energy has a great potential to produce clean and environmentally friendly heating.

Industry energy demand has been on the rise in recent decades; even as equipment specifications and process operation have improved, inefficiencies in the conversion and utilization of process energy remain a significant factor for the reduction in energy consumption [4]. Exergy represents the amount of useful work that can be obtained from a system when it is brought into thermodynamic equilibrium with the environment. Exergy analysis of a process allows focusing on the thermodynamic losses and inefficiencies of each unit or block in a production process. However, the number of studies based on the exergy of

Article

Characterization of Orange Peel Waste and Valorization to Obtain Reducing Sugars

José R. Ayala ^{*}, Gisela Montero , Marcos A. Coronado , Conrado García , Mario A. Curiel-Alvarez, José A. León, Carlos A. Sagaste  and Daniela G. Montes 

Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez y Calle de la Normal S/N, Col. Insurgentes Este, Mexicali 21280, Baja California, Mexico; gmontero@uabc.edu.mx (G.M.); marcos.coronado@uabc.edu.mx (M.A.C.); cnrdgarcia@uabc.edu.mx (C.G.); mcuriel@uabc.edu.mx (M.A.C.-A.); jose.leon30@uabc.edu.mx (J.A.L.); carlos.sagaste@uabc.edu.mx (C.A.S.); dmontes35@uabc.edu.mx (D.G.M.)

* Correspondence: ramon.ayala@uabc.edu.mx; Tel.: +52-686-566-4150

Abstract: Annually, millions of tons of foods are generated with the purpose to feed the growing world population. One particular eatable is orange, the production of which in 2018 was 75.54 Mt. One way to valorize the orange residue is to produce bioethanol by fermenting the reducing sugars generated from orange peel. Hence, the objective of the present work was to determine the experimental conditions to obtain the maximum yield of reducing sugars from orange peel using a diluted acid hydrolysis process. A proximate and chemical analysis of the orange peel were conducted. For the hydrolysis, two factorial designs were prepared to measure the glucose and fructose concentration with the 3,5-DNS acid method and UV-Visible spectroscopy. The factors were acid concentration, temperature and hydrolysis time. After the hydrolysis, the orange peel samples were subjected to an elemental SEM-EDS analysis. The results for the orange peel were 73.530% of moisture, 99.261% of volatiles, 0.052% of ash, 0.687% of fixed carbon, 19.801% of lignin, 69.096% of cellulose and 9.015% of hemicellulose. The highest concentration of glucose and fructose were 24.585 and 9.709 g/L, respectively. The results highlight that sugar production is increased by decreasing the acid concentration.

Keywords: chemical composition; orange peel; proximate analysis; reducing sugars; SEM-EDS



check for updates

Citation: Ayala, J.R.; Montero, G.; Coronado, M.A.; García, C.; Curiel-Alvarez, M.A.; León, J.A.; Sagaste, C.A.; Montes, D.G. Characterization of Orange Peel Waste and Valorization to Obtain Reducing Sugars. *Molecules* **2021**, *26*, 1348. <https://doi.org/10.3390/molecules26051348>

Academic Editor: Assunta Marrocchi

Received: 3 February 2021

Accepted: 26 February 2021

Published: 3 March 2021

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright: © 2021 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

In 2018, the United Nations Food and Agriculture Organization (F.A.O.) [1] estimated a world citrus production of 104.15 Mt, with 75.54 Mt corresponding to orange. During 2018, the largest orange producers worldwide were Brazil, China, India, USA and Mexico, achieving 58.10% of the total orange production. In the same year Mexico produced 4.74 Mt of orange, which represents 6.3% of the world total production [2]. Figure 1 presents the orange production of these countries compared to the world production from 2000 to 2018 [1]. In general, orange production is increasing year over year. The wastes that are generated from the orange industry include seeds, pulp, albedo and peel. Some processes take advantage of the greater amount of the fruit and used the rest in different subprocess—cattle feed, essential oil and/or limonene extraction, as well as pectin's extraction are some of the trends applied to the orange residues. However, not all waste is used, resulting in non-hazardous waste with revalorization potential.

The orange peel is the waste with the highest volume and ease of use in the orange industry. It is estimated that around 20% of the orange is orange peel. Therefore, there is an estimation of 15.10 Mt of orange peel generation in 2018. However, before proposing a valorization route for orange peel, the physicochemical characteristics of this waste must be known. The literature indicates that the orange peel contains 23% sugar, 22% cellulose, 25% pectins and 11% hemicellulose [3–5]. With these values, biochemical transformations are feasible options, such as the production of bioethanol or biogas [6–8]. These processes

Assessment and potential-site determination of a wheat straw power plant by Aspen Plus and multi-criteria GIS model

Marcos A Coronado , Conrado García, Gisela Montero, José R Ayala, Laura K Cervantes, Daniela G Montes , José Á León, Ricardo Torres and Carlos A Sagaste

Abstract

Wheat is one of the most important crops worldwide. Mexicali, Baja California, is an important wheat producer in Mexico with an average production of 507,543 t. Wheat straw is generated as a residue which could be used for different purposes such as bioenergy, heat and power generation. In this work, an assessment and potential site determination of a biomass power plant operating with wheat straw as fuel was performed. Aspen Plus was used to evaluate a plant capacity of at least 10 MW considering the physicochemical properties and an higher heating value of 14.86 MJ kg⁻¹ of the wheat straw from the region. The combustion produced 39.76 MW, and the overall plant efficiency was 25.52%. The development of the multi-criteria geographic information system model allowed us to assess and analyse four factors and three restrictions to determine the potential site for the biomass power plant. The factors were raw material, wheat crops, electric transmission lines, paths and roads, water canals and aqueducts, while the restrictions were localities, Ramsar sites and faults. The biomass power plant is technically and geographically feasible. The geographical coordinates of the potential site of the biomass power plant that fulfils all the criteria are 32°29'29.72"N and 115°15'39.45"W.

Keywords

Biomass waste, wheat straw, biomass valorization, biomass power plant, site selection model, multi-criteria evaluation model, simulation process, Aspen Plus

Received 23rd June 2020, accepted 7th November 2020 by Editor in Chief Arne Ragossnig.

Introduction

The increasing demand for energy, combined with the search to reduce the dependency on fossil fuels, has boosted the development of clean technologies all over the world. Among these sources, bioenergy stands out. Bioenergy is used for heat and electricity generation. There are mature and commercial energy sources, such as a direct-combustion furnace. There are also more efficient technologies that are still in development, such as gasification, which is a crucial process for the thermochemical conversion of biomass and may have a production capacity from a few kW to hundreds of MW (Ruiz et al., 2013). There are different types of biomass, and their characteristics determine the most suitable conversion pathway. Wheat straw is one of the sources of biomass that can be used in a direct combustion biomass power plant. This agricultural waste presents a low moisture content and high heating value (Montero et al., 2016). Wheat covers more area in the world than any other feed crop. It is the third most produced grain in the world, only after corn and rice. Currently, at least 65% of the wheat harvest is used for human consumption, 17% as animal feed and 12% in industrial applications, including biofuels

(FAO Statistical Yearbook, 2013). In 2016, the global production of wheat was 749,460,078 t. Of this, China produced 131,689,035 t and India produced 93,500,000 t. Mexico took the 29th place globally for wheat production, producing 3,862,914 t (FAO FAOSTAT, 2018).

Baja California is the second largest wheat-producing Mexican state. In 2015, 95 types of distinct crops were sown in the state of Baja California, of which wheat grain occupied first place concerning the planted area (44.8% of the total area) (OEIDRUS, 2017; SIAP, 2015). Wheat production is concentrated in the Mexicali Valley zone. It is located in the northwest region of Mexico, and it borders with the state of California, USA, specifically with the Imperial Valley, sharing the same

Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería, Mexico

Corresponding author:

Marcos A Coronado, Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería, Boulevard Benito Juárez, Insurgentes Este, 21280 Mexicali, BC, Mexico.

Email: marcos.coronado@uabc.edu.mx

Article

Physicochemical Characterization and SEM-EDX Analysis of Brewer's Spent Grain from the Craft Brewery Industry

Marcos A. Coronado *, Gisela Montero, Daniela G. Montes, Benjamín Valdez-Salas, José R. Ayala, Conrado García, Mónica Carrillo, José A. León and Abigail Moreno

Instituto de Ingeniería, Universidad Autónoma de Baja California, Blvd. Benito Juárez y Calle de la Normal S/N, Col. Insurgentes Este, Mexicali 21280, Baja California, Mexico; gmontero@uabc.edu.mx (G.M.); dmontes35@uabc.edu.mx (D.G.M.); benval@uabc.edu.mx (B.V.-S.); ramon.ayala@uabc.edu.mx (J.R.A.); cnrdgarcia@uabc.edu.mx (C.G.); monica@uabc.edu.mx (M.C.); jose.leon30@uabc.edu.mx (J.A.L.); moreno.abigail@uabc.edu.mx (A.M.)

* Correspondence: marcos.coronado@uabc.edu.mx; Tel.: +52-6865664150

Received: 26 August 2020; Accepted: 15 September 2020; Published: 18 September 2020

Abstract: The brewing industry generates, as the primary coproduct, brewers' spent grain (BSG). In Mexicali, Baja California, Mexico, there are 17 companies that generated 282 tons of BSG by 2016. Cattle feeding is the most common type of disposal for this waste. However, it can be valorized for the production of bioenergy or as a source of added-value products. Therefore, the objective of the present work was to assess the physicochemical properties of the brewers' spent grain from a local craft brewery, to choose the most appropriate exploitation route. Chemical and morphological analyses were carried out by energy dispersive X-ray fluorescence spectroscopy (EDX), scanning electron microscopy, and the higher heating value determination. The results of the proximate analyses were 72.32% moisture, 78.47% volatile matter, 17.48% fixed carbon, and 4.05% ash. The results of the chemical analysis for extractables were 5.23% using organic solvent and 50.25% using hot water. The content determination were 17.13% lignin, 26.80% cellulose, and 37.17% hemicellulose. The results of the ultimate analysis were 43.59% C, 6.18% H, 3.46% N, and 37.22% O. The higher heating value experimentally obtained was 18.70 MJ/kg. Moreover, in the EDX analysis, Ca, P, K, and S were mainly found. It is recommendable to valorize the BSG through the xylitol, bioethanol or biogas production, because of its high moisture, hemicellulose and cellulose content.

Keywords: brewers' spent grain; valorization; bioenergy; bioproducts; biomass

1. Introduction

Currently, alcoholic beverage production contributes significantly to the economy of many countries [1]. Along with wine, beer is the alcoholic beverage that has experienced a significant increase in its expansion in terms of historical production, consumption and diffusion worldwide [2]. The impact of the beer industry is such that, in October 2016, the third largest acquisition in history was signed by the two largest beer companies in the world. Anheuser-Busch InBev (AB InBev) and SABMiller merged more than \$100 billion US dollars, to operate under the Newbelco name, and are expecting an annual sale of \$55 billion [3]. On the other hand, small breweries multiply almost daily in some countries, which are known as craft breweries [2].

In 2016, world beer production reached 195,747.7 million liters. The leading beer producing countries are China, the United States, Brazil and Mexico. Mexico positioned itself in fourth place, producing 5.36% of beer worldwide in 2016, with 10.5 billion liters [4]. In 2016, the Beer Association

Creosote Bush (*Larrea tridentata*) Extract Assessment as a Green Antioxidant for Biodiesel

Carlos A. Sagaste ¹, Gisela Montero ^{1,*}, Marcos A. Coronado ¹, José R. Ayala ¹, José Á. León ¹, Conrado García ¹, Benjamín A. Rojano ², Stephania Rosales ² and Daniela G. Montes ¹

¹ Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería, Blvd. Benito Juárez, Insurgentes Este, Mexicali 21280, Mexico; carlos.sagaste@uabc.edu.mx (C.A.S.); marcos.coronado@uabc.edu.mx (M.A.C.); ramon.ayala@uabc.edu.mx (J.R.A.); jose.leon30@uabc.edu.mx (J.A.L.); cnrdgarcia@uabc.edu.mx (C.G.); dmontes35@uabc.edu.mx (D.G.M.)

² Universidad Nacional de Colombia-Medellín, Facultad de Ciencias, Laboratorio Ciencias de los Alimentos, Calle 59 no. 63-20, Medellín 050034, Colombia; brojano@unal.edu.co (B.A.R.); srosalesd@unal.edu.co (S.R.)

* Correspondence: gmontero@uabc.edu.mx; Tel.: +52-686-566-4150

Received: 29 March 2019; Accepted: 25 April 2019; Published: 8 May 2019

Abstract: In this work, the antioxidant properties of methanolic extract of *Larrea tridentata* were assessed through the free radical scavenging method, ferric reducing antioxidant power and oxygen radical absorbance capacity. The phenolic acids content in the extract was quantified by high-performance liquid chromatography (HPLC) and the total phenol content by the Folin–Ciocalteu method. The extract was used as an antioxidant in biodiesel from canola oil composed mostly by fatty acid methyl esters identified and quantified by gas chromatography-mass spectrophotometry (GC-MS). The performance of the extract as an antioxidant was assessed by the oxidative stability index (OSI) with a Rancimat equipment at 100, 110, 120 and 130 °C. Additionally, the change of the peroxide value (PV) and the higher heating value under conditions of oxidative stress at 100 °C and air injection were measured. The antioxidant capacity of the extract reached 50,000 TAEC (micromole of Trolox antioxidant equivalent capacity per gram). The biodiesel was constituted by more than 70% of unsaturated fatty acid methyl esters (FAME), mainly methyl oleate. The time needed to reach a PV of 100 meqO₂/kg was almost four times longer with an antioxidant concentration of 250 mg/L than the blank. The biodiesel showed an OSI time of 1.25 h at 110 °C, while it increased to 8.8, 15.89 and 32.27 h with the antioxidant at concentrations of 250, 500 and 1000 mg/L, respectively. The methanolic *Larrea tridentata* extract proved to have an antioxidant capacity and it is a green antioxidant in biodiesel to increase its oxidative stability. According to the results obtained, the *L. tridentata* methanolic extract is an alternative to the commercial synthetic antioxidants used in biodiesel nowadays.

Keywords: biodiesel; oxidative stability; *Larrea tridentata*; green antioxidant; green chemistry; biofuels

1. Introduction

In the search for alternatives to fossil fuels, humankind has chanced upon different as well as profitable and efficient options. This search is composed of economic, environmental and technical parts; however, the most urgent one is the immediate necessity of reducing the emission of greenhouse gases. Biofuels have been some of the most utilized alternatives to oil by-products.

Biofuels can be found in solid, liquid or gas form. Biodiesel is one of the most used liquid biofuels. It is a fuel composed of fatty acid alkyl esters mix, typically methyl (FAME) or ethyl esters. It is obtained from transesterification of fatty acids with short-chain alcohols in the presence of a catalyst, (usually an alkaline), with glycerol as a by-product.

Dear Dr. Coronado Ortega,

Your manuscript entitled "Biomass simulation: orange and eucalyptus waste as a source of essential oils using solar energy" has been successfully submitted online and is presently given full consideration for publication in **Chemical Engineering** & Technology.

The manuscript number is ceat.202100597. Please mention this number in all future correspondence regarding this submission. If you wish to cite this contribution, please use the digital object identifier (DOI): 10.1002/ceat.202100597

You can view the status of your manuscript at any time by checking your Author Center after logging into <https://mc.manuscriptcentral.com/ceat>

PLEASE NOTE: The status displayed will be "In process" until a decision has been made. "In process" covers checking of the manuscript by the editorial office and reviewing. If you have difficulty using this site, please click the 'Get Help Now' link at the top right corner of the site.

This journal offers a number of license options for published papers; information about this is available here: <https://authorservices.wiley.com/author-resources/Journal-Authors/licensing/index.html>. The submitting author has confirmed that all co-authors have the necessary rights to grant in the submission, including in light of each co-author's funder policies. If any author's funder has a policy that restricts which kinds of license they can sign, for example if the funder is a member of Coalition S, please make sure the submitting author is aware.

Thank you for submitting your manuscript to **Chemical Engineering** & Technology.

Yours sincerely,
Editorial Office

Dr. Barbara Boeck
Chemical Engineering & Technology
Wiley-VCH GmbH

CAPÍTULO DE LIBRO

ABSTRACT FOR CHAPTER PROPOSAL DECISION

Title: Potential energy of bioethanol and biodiesel from residual biomass in Baja California
Authors: Daniela G. Montes, Lisandra Quintana, Jesús M. Armenta, Iracema Valenzuela and Edson E. Armenta
Book Editors Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega and Dr. José Ramón Ayala Bautista

We are pleased to inform you that your book chapter proposal has

PRELIMINARY CONSIDERATION

To be included in the final book proposal:

Biomass: The novel green gold – Current trends and future uses of biomass resources
Under the section: (Energy applications or Non energy applications)

That will be submitted to Nova Science Publishing. You have until **June 3, 2022**, to send us your full chapter to the following email addresses:

marcos.coronado@uabc.edu.mx

ramon.ayala91@uabc.edu.mx

You are requested to strictly follow the authors guidelines to avoid unnecessary delays. We are looking forward to establish a long term professional relationship with you.

Best Regards,
The Editors



Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega



Dr. José Ramón Ayala Bautista

ABSTRACT FOR CHAPTER PROPOSAL DECISION

Title: Date palm (*Phoenix dactylifera*) seed as a source of biomass for extraction of phytochemical compounds for green chemistry applications

Authors: Ana María Vázquez-Espinoza, Conrado García-González, Ricardo Salomón-Torres, Armando Pérez-Sánchez, Daniela Montes-Núñez

Book Editors Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega and Dr. José Ramón Ayala Bautista

We are pleased to inform you that your book chapter proposal has

PRELIMINARY CONSIDERATION

To be included in the final book proposal:

Biomass: The novel green gold – Current trends and future uses of biomass resources
Under the section: Non energy applications

That will be submitted to **Nova Science Publishing**. You have until **June 3, 2022**, to send us your full chapter to the following email addresses:

marcos.coronado@uabc.edu.mx

ramon.ayala91@uabc.edu.mx

You are requested to strictly follow the authors guidelines to avoid unnecessary delays. We are looking forward to establish a long term professional relationship with you.

Best Regards,
The Editors



Dr. Marcos Alberto Coronado Ortega



Dr. José Ramón Ayala Bautista

PROPIEDAD INTELECTUAL

CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTORES: ARMENTA GALVEZ EDSON ELISEO
AYALA BAUTISTA JOSE RAMON
CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO
MONTERO ALPIREZ GISELA
MONTES NUÑEZ DANIELA GUADALUPE LUCIA

TÍTULO: EXTRACCION DE ACEITE ESENCIAL DE CITRICOS

RAMA: LITERARIA

TITULAR: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA (CON FUNDAMENTO EN EL ARTICULO 83 DE LA L.F.D.A.)

Con fundamento en el artículo 3° de la Ley Federal del Derecho de Autor el presente certificado ampara única y exclusivamente la obra original Literaria.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 14 fracciones I, II y III de la Ley Federal del Derecho de Autor, no es objeto de protección como derecho de autor: las fórmulas, soluciones, conceptos, métodos, sistemas, principios, descubrimientos, procesos e invenciones de cualquier tipo; el aprovechamiento industrial o comercial de las ideas contenidas en las obras; los esquemas, planes o reglas para realizar actos mentales, juegos o negocios.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

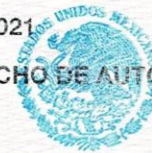
Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; y artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior de Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2021-100613114100-01

Ciudad de México, a 11 de octubre de 2021

EL DIRECTOR DEL REGISTRO PÚBLICO DEL DERECHO DE AUTOR

JESUS PARETS GOMEZ



SECRETARÍA DE CULTURA
INSTITUTO NACIONAL DEL
DERECHO DE AUTOR
DIRECCIÓN DE REGISTRO
PÚBLICO DEL DERECHO DE
AUTOR



CULTURA
SECRETARÍA DE CULTURA



INDAUTOR
INSTITUTO NACIONAL DEL DERECHO DE AUTOR

CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTORES: CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO
GARCIA GONZALEZ CONRADO
MONTERO ALPIREZ GISELA
MONTES NUÑEZ DANIELA GUADALUPE LUCIA
QUINTANA ALVAREZ LISANDRA

TITULO: EVALUACION MULTICRITERIO PARA EL APROVECHAMIENTO DE BIOMASA
RESIDUAL DE BAJA CALIFORNIA

RAMA: LITERARIA

TITULAR: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA (CON FUNDAMENTO EN EL
ART. 83 DE LA L.F.D.A.)

Con fundamento en lo establecido por el artículo 14 fracción I de la Ley Federal del Derecho de Autor, no es objeto de protección como derecho de autor: las ideas en sí mismas, las fórmulas, soluciones, conceptos, métodos, sistemas, principios, descubrimientos, procesos e invenciones de cualquier tipo.

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.

Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2019-032810121300-01

México D.F., a 4 de abril de 2019

SUBDIRECTOR DE REGISTRO DE OBRAS Y CONTRATOS

DANIEL RAMOS LOPEZ

SECRETARÍA DE CULTURA
INSTITUTO NACIONAL DEL
DERECHO DE AUTOR
DIRECCIÓN DE REGISTRO PÚBLICO
DEL DERECHO DE AUTOR

CERTIFICADO

Registro Público del Derecho de Autor

Para los efectos de los artículos 13, 162, 163 fracción I, 164 fracción I, 168, 169, 209 fracción III y demás relativos de la Ley Federal del Derecho de Autor, se hace constar que la **OBRA** cuyas especificaciones aparecen a continuación, ha quedado inscrita en el Registro Público del Derecho de Autor, con los siguientes datos:

AUTORES: CORONADO ORTEGA MARCOS ALBERTO
GARCIA GONZALEZ CONRADO
MONTERO ALPIREZ GISELA
MONTES NUÑEZ DANIELA GUADALUPE LUCIA
QUINTANA ALVAREZ LISANDRA

TITULO: ROL DE LA LOGISTICA EN LA RECUPERACION DE RESIDUOS EN LAS
CADENAS DE SUMINISTRO

RAMA: LITERARIA

TITULAR: UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA (CON FUNDAMENTO EN EL
ART. 83 DE LA L.F.D.A.)

Con fundamento en lo establecido por el artículo 168 de la Ley Federal del Derecho de Autor, las inscripciones en el registro establecen la presunción de ser ciertos los hechos y actos que en ellas consten, salvo prueba en contrario. Toda inscripción deja a salvo los derechos de terceros. Si surge controversia, los efectos de la inscripción quedarán suspendidos en tanto se pronuncie resolución firme por autoridad competente.


Con fundamento en los artículos 2, 208, 209 fracción III y 211 de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 64, 103 fracción IV y 104 del Reglamento de la Ley Federal del Derecho de Autor; artículos 1, 3 fracción I, 4, 8 fracción I y 9 del Reglamento Interior del Instituto Nacional del Derecho de Autor, se expide el presente certificado.

Número de Registro: 03-2019-032810041100-01

México D.F., a 4 de abril de 2019

SUBDIRECTOR DE REGISTRO DE OBRAS Y CONTRATOS

DANIEL RAMOS LOPEZ


SECRETARÍA DE CULTURA
INSTITUTO NACIONAL DEL
DERECHO DE AUTOR
DIRECCIÓN DE REGISTRO PÚBLICO
DEL DERECHO DE AUTOR

PROYECTOS



Universidad Autónoma de Baja California
DEPARTAMENTO DE APOYO A LA DOCENCIA Y LA INVESTIGACIÓN
CAMPUS MEXICALI

Constancia

A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente se hace constar que DANIELA GUADALUPE LUCIA MONTES NUNEZ, se encuentra como ASOCIADO del proyecto de investigación: PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITE ESENCIAL DE CÁSCARA DE NARANJA Y HOJA DE EUCALIPTO UTILIZANDO ASPEN PLUS Y TRNSYS

Este proyecto, es apoyado por el INSTITUTO DE INGENIERIA de esta Universidad, durante el periodo de 2021-2 a 2022-1, y se encuentra debidamente registrado en el Departamento de Apoyo a la Docencia y la Investigación como proyecto VIGENTE .

Se extiende la presente constancia, a los ocho días del mes de diciembre de dos mil veintiuno, en la ciudad de Mexicali, Baja California.

A T E N T A M E N T E
"POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE"
JEFA DEL DEPARTAMENTO

DRA. YARALÍN ACEVES VILLANUEVA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE BAJA CALIFORNIA



COORDINACIÓN DE
POSGRADO E
INVESTIGACIÓN



Universidad Autónoma de Baja California

DEPARTAMENTO DE APOYO A LA DOCENCIA Y LA INVESTIGACIÓN
CAMPUS MEXICALI

Constancia

A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente se hace constar que DANIELA GUADALUPE LUCIA MONTES NUNEZ, se encuentra como ASOCIADO del proyecto de investigación: PARAMETROS SIGNIFICATIVOS EN LA HIDROLISIS ACIDA DE CASCARA DE NARANJA PARA LA PRODUCCION DE AZUCARES REDUCTORES, apoyado en Convocatoria Externa con un monto de \$302,000.00.

Este proyecto, se lleva a cabo en el INSTITUTO DE INGENIERIA de esta Universidad, durante el periodo de 2020-2 a 2021-2, y se encuentra debidamente registrado en el Departamento de Posgrado e Investigación como proyecto VIGENTE .

Se extiende la presente constancia, a los veintiuno días del mes de diciembre de dos mil veinte, en la ciudad de Mexicali, Baja California.

ATENTAMENTE
"POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE"
JEFA DEL DEPARTAMENTO

DRA. YARALÍN ACEVES VILLANUEVA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE BAJA CALIFORNIA



COORDINACIÓN DE
POSGRADO E
INVESTIGACIÓN



Universidad Autónoma de Baja California

DEPARTAMENTO DE APOYO A LA DOCENCIA Y LA INVESTIGACIÓN
CAMPUS MEXICALI

Constancia

A QUIEN CORRESPONDA:

Por medio de la presente se hace constar que el doctor(a) BRENDA LETICIA FLORES RIOS académico adscrito a el INSTITUTO DE INGENIERIA, fungió como responsable del proyecto de investigación titulado DIVULGACIÓN DE CONOCIMIENTO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO POR MEDIO DEL PROGRAMA MUJERES EN LA INVESTIGACIÓN DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA UABC. El cual fue registrado en este departamento con la clave 111/2215 y una vigencia 2019-1 a 2021-1.

En este proyecto de investigación participaron los siguientes:

Alumnos

DANIELA MONTES NUÑEZ

LUZ ESTELA SALAZAR ESCALANTE

PAOLA ELVIRA VELÁZQUEZ SOLÍS

SILVIA JAQUELINE URREA CONTRERAS

Se extiende la presente constancia, a los nueve días del mes de marzo de dos mil veintidos, en la ciudad de Mexicali, Baja California.

ATENTAMENTE
"POR LA REALIZACIÓN PLENA DEL HOMBRE"
JEFA DEL DEPARTAMENTO

DRA. YARALÍN ACEVES VILLANUEVA

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
DE BAJA CALIFORNIA



COORDINACIÓN DE
POSGRADO E
INVESTIGACIÓN

ASISTENCIA A CURSOS



SAN DIEGO STATE
UNIVERSITY

Imperial Valley

PROFESSIONAL SKILLS DEVELOPMENT CENTER



CERTIFICATE OF COMPLETION

awarded to

Daniela Guadalupe Lucia Montes Niner

For Successfully Completing all the Requirements for the
"ENGLISH LANGUAGE CONVENTIONS THROUGH READING
AND WRITING CERTIFICATION COURSE"

Program 2020-2

SUZANNA FUENTES FERREIRO

Program Director

Program Sponsored by SDSU Research Foundation





08/29/2020

**Daniela Guadalupe Lucía
Montes Núñez**

has successfully completed

Introduction to Sustainability

an online non-credit course authorized by University of Illinois at Urbana-Champaign
and offered through Coursera

Dr. Jonathan Tomkin
Associate Director
Research Associate Professor
School of Earth, Society, and Environment
University of Illinois

**COURSE
CERTIFICATE**



Verify at coursera.org/verify/CPUgMH4B75F4
Coursera has confirmed the identity of this individual and
their participation in the course.



Academia de la OMPI

CERTIFICADO

Por el presente se certifica que

Daniela Montes

ha completado satisfactoriamente
el curso de enseñanza a distancia titulado

CURSO GENERAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL

impartido del 2 de abril al 19 de mayo de 2019

Sherif Saadallah
Director Ejecutivo
Academia de la OMPI



8CVzgLQzO0



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

Otorga la presente

CONSTANCIA

A: Daniela Guadalupe Lucia Montes Núñez

Por su participación como asistente a los Cursos Especializados sobre Propiedad Industrial con sede en el Instituto de Ingeniería del Campus Mexicali, realizados del 09 al 24 de agosto del presente año, con duración de 25 horas.

Mexicali, Baja California, agosto de 2018
Por la realización plena del hombre

Lic. Ricardo Ramírez Gamboa
Titular de la Oficina Regional Occidente del IMPI

Lic. Aide Gínera Aparicio
Jefa del Órgano de Propiedad Intelectual