

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO  
VICERRECTORADO  
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y  
PETROQUIMICA**



**PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS DE TUBÉRCULOS PARA  
AUMENTAR EL OCTANAJE DE LA GASOLINA EN LA CIUDAD DE EL ALTO**  
Resolución HCC N° 165/2021

**EQUIPO DE INVESTIGADORES:**

M.Sc. Ing. Elma Rocío Córdova Quispe  
Univ. Héctor Ramiro Morales Fernández  
Univ. Lola Estela Maldonado Mamani

EL ALTO – BOLIVIA  
2022

# UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO

## AUTORIDADES

Dr. Carlos Condori Titirico  
**RECTOR**

Dr. Efrain Chambi Vargas Ph.D  
**VICERRECTOR**

Dr. Antonio López Andrade Ph. D.  
**DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

Ing. Nicolás Quenta Ticona  
**DIRECTOR DE CARRERA (a.i.) DE LA CARRERA DE INGENIERIA DE GAS Y PETROQUIMICA**

REGISTRO SENAPI: Resolución Administrativa NRO. 1-2966/2022

DERECHOS RESERVADOS: Universidad Pública de El Alto

Dirección UPEA: Av. Sucre s/n Zona Villa Esperanza

Diciembre 2022  
El Alto – Bolivia

## PRESENTACIÓN

---

Tarea Irrelevante de la universidad. La Constitución Política del Estado, establece y garantiza el desarrollo de la ciencia y la investigación científica, técnica y tecnológica en beneficio del interés general. Asimismo, indica que el Estado, las universidades, las empresas productivas y de servicios, públicas y privadas, desarrollaran procesos de investigación, innovación, promoción, divulgación, aplicación y transferencia de ciencia y tecnología para fortalecer la base productiva e impulsar el desarrollo integral de la sociedad (Art. 103, numeral I, II y III); y por otra, la Universidad Pública de El Alto (UPEA) tiene constituido en su Estatuto Orgánico el Carácter Científico Institucional y tiene como misión no solamente la de formar profesionales capaces a requerimiento de la población, sino al amparo de la Ley de leyes del país tiene la de fomentar la ciencia y la investigación técnica y tecnológica para coadyuvar al desarrollo integral del país.

En el marco anterior, la UPEA expresa en su Plan Estratégico de Desarrollo Institucional PEDI, que es una necesidad la de fomentar procesos de investigación científica a nivel de la Comunidad Universitaria, promoviendo la generación de nuevos conocimientos, ciencia, desarrollo, tecnología e innovación, para un aporte inmediato y permanente al desarrollo sostenible del país. La UPEA, institución que promueve la ciencia y la investigación a través de la Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología (DICyT) y sus Institutos de Investigaciones, en este caso particular desde el Instituto de Investigaciones de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica, proyecta ser un brazo articulador para investigaciones que coadyuven al rol de la industria de gas y petroquímica.

Por tanto, la UPEA a través de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica coadyuva al desarrollo del sector hidrocarburos del país, enfocados en procesos que permiten la separación primaria (gas, petróleo crudo y agua) y secundaria (deshidratación, removido de petróleo crudo, adulzamiento, criogenización), y otros procesos especializados como extracción de combustibles líquidos y otros. El Instituto de Investigaciones de ésta carrera ha tomado muy en serio este tema de investigación y ha avanzado exitosamente el desarrollo del proyecto **“PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS DE TUBÉRCULOS PARA AUMENTAR EL OCTANAJE DE LA GASOLINA EN LA CIUDAD DE EL ALTO”** liderada por la *M.Sc. Ing. Elma Rocío Córdova Quispe* y apoyada por los auxiliares de investigación universitarios: *Héctor Ramiro Morales Fernández* y *Lola Estela Maldonado Mamani*, quienes en trabajo en equipo han logrado concluir la investigación del desarrollo de biocombustibles líquidos, particularmente del bioetanol, que son una alternativa energética con ventajas como la reducción de emisiones de dióxido de carbono en contraste con derivados de hidrocarburos, por lo tanto, la tendencia a largo plazo puede reflejarse con un impacto ambiental, además de ser coadyuvante a la reducción de la dependencia de carburantes importados y subsidiados, iniciativas que a corto y mediano plazo constituirán parte de la semilla de combustibles alternativos.

Finalmente, el proyecto pretende identificar en base a las variables sujetas a caracterización y los estudios de relevamiento propuestos para la producción de bioetanol a partir de residuos de los tubérculos abordados desde la universidad.

M.Sc. Ing. Nicolás Quenta Ticona  
**DIRECTOR DE CARRERA (a.i.)**  
**CARRERA DE INGENIERIA DE GAS Y PETROQUIMICA**

## **AGRADECIMIENTOS INSTITUCIONALES**

---

Agradecimiento a las instancias de la Universidad Pública de El Alto, el Área de Ciencia y Tecnología, la Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología, la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica, el Instituto de Investigaciones de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica por el apoyo en todas las fases del proyecto, siendo que se pudo exponer el proyecto en instancias como la 1ra Versión de la Rueda Tecnológica y Científica en Ingeniería organizado por el Área de Desarrollo Productivo, además de la Sexta Expo – Ciencia Área Ciencia y Tecnología 2022 “Presencial” organizado por el Área de Ciencia y Tecnología de manera de dar exposición de los avances del proyecto de investigación hacia la comunidad universitaria y a la población.

Ing. M.Sc. Elma Rocío Córdova Quispe  
**INVESTIGADOR PRINCIPAL**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA DE GAS Y PETROQUIMICA**

## INDICE

	Pág.
<b>CAPITULO I: INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
1.1.1.    EL PROBLEMA.....	3
1.1.2.    EL OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.1.3.    LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
<b>1.2.LA JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1.    CARACTERÍSTICAS DEL ETANOL.....	8
2.2.    OCTANAJE.....	8
2.3.    VARIABLES DEL OCTANAJE .....	10
2.3.1 ÍNDICE DE OCTANO (RON Research Octane Number).....	10
<b>2.3.2.    METODOS DE CALCULO DEL INDICE DE OCTANO.....</b>	<b>11</b>
2.3.2.1.    DEFINICIÓN DE ÍNDICE DE OCTANO U OCTANAJE.....	11
2.4.    DIFERENCIA ENTRE RON Y MON DEL OCTANAJE .....	11
2.5.    TECNOLOGÍAS PARA LA MEJORA DEL OCTANAJE .....	12
<b>2.5.1.    ESTABLECER MEDICION DE OCTANAJE DE LA GASOLINA Y</b>	
<b>ETANOL A NIVEL NACIONAL .....</b>	<b>12</b>
2.6.    PROPIEDADES DEL ETANOL .....	13
2.7.    FERMENTACIÓN .....	13

2.8.	PRODUCCIÓN DE ETANOL VÍA FERMENTATIVA.....	13
2.9.	MATERIAS PRIMAS Y SU IMPORTANCIA EN EL PROCESO FERMENTATIVO.....	14
2.10.	PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIOETANOL.....	15
2.11.	PARÁMETROS A CONTROLAR EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.....	17
	a) Temperatura.....	17
	b) Indicador de acidez pH.....	18
	c) Nutrientes.....	18
	c) Aireación.....	18
	d) Productividad.....	18
2.12.	LIMITANTES DE LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.....	18
	a) Concentración de alcohol.....	18
	b) Acidez del sustrato.....	19
	c) Concentración de Azúcares.....	19
	d) Temperatura.....	19
	e) Ritmo de crecimiento de las cepas.....	20
2.13.	MICROORGANISMOS UTILIZADOS EN LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.....	21
2.14.	DESTILACIÓN.....	21
2.15.	RESIDUOS SÓLIDOS EN BOLIVIA.....	22
2.16.	SITUACIÓN ENERGÉTICA EN BOLIVIA.....	23

2.17.	SITUACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES EN BRASIL .....	23
2.18.	FLUCTUACIÓN DE PRECIOS DEL BIOETANOL, GASOLINA EN LATINOAMÉRICA Y BOLIVIA.....	24
2.19.	SITUACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES EN ARGENTINA .....	28
2.20.	TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL .....	28
2.21.	TECNOLOGÍAS POR GENERACIÓN DEL BIOETANOL.....	30
<b>2.21.1.</b>	<b>BIOETANOL DE PRIMERA GENERACIÓN 1G</b> .....	30
<b>2.21.2.</b>	<b>BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN O AVANZADO 2G</b> .....	31
<b>2.21.3.</b>	<b>BIOCOMBUSTIBLES DE TERCERA GENERACIÓN 3G</b> .....	36
<b>2.21.4.</b>	<b>BIOETANOL DE CUARTA GENERACIÓN 4G</b> .....	37
2.22.	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CALIDAD DE BIOETANOL .....	37
2.23.	MÉTODOS DE INCREMENTO DE OCTANAJE DE LA GASOLINA .....	37
2.24.	FUNCIONAMIENTO DE MOTORES Y ADECUACIÓN AL BIOETANOL COMO COMBUSTIBLE .....	38
2.25.	CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	39
2.26.	PRODUCCIÓN COMPARATIVA DE BIOETANOL DE PRIMERA Y SEGUNDA GENERACIÓN EN LATINOAMÉRICA.....	43
2.27.	SITUACIÓN ENERGÉTICA CON RESPECTO A COMBUSTIBLES FÓSILES Y BIOCOMBUSTIBLES EN ARGENTINA.....	46
2.28.	SITUACIÓN ENERGÉTICA CON RESPECTO A BIOCOMBUSTIBLES EN BRASIL	47

2.29. SITUACIÓN DE LOS PRECIOS DEL PETRÓLEO AFECTAN AL MERCADO DE BIOCOMBUSTIBLES .....	48
2.30. SITUACIÓN ENERGÉTICA CON RESPECTO A BIOCOMBUSTIBLES EN ESTADOS UNIDOS .....	48
2.31. SITUACIÓN EN BOLIVIA.....	49
2.32. EFECTOS EN LA INDUSTRIA DE ENERGÍA BIOCOMBUSTIBLES .....	51
<b>2.33. ESTUDIO SOBRE EL PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL.....</b>	<b>51</b>
2.34. MENCIÓN DE OTROS ESTUDIOS RELATIVOS AL TEMA.....	57
2.35. MENCIÓN DE LOS PUNTOS DE VISTA DE OTROS INVESTIGADORES.	58
2.36. CORRIENTE O ENFOQUE ELEGIDO POR EL INVESTIGADOR .....	58
2.37. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES .....	59
<b>3. CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>60</b>
<b>3.1.TIPO DE INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>60</b>
<b>3.2.DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>60</b>
<b>3.3.VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>60</b>
<b>3.4.POBLACIÓN Y MUESTRA .....</b>	<b>61</b>
<b>3.5.AMBIENTE DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>61</b>
<b>3.6.TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....</b>	<b>62</b>
<b>3.7.PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>64</b>
<b>4. CAPITULO IV: RESULTADOS .....</b>	<b>81</b>
<b>4.1.ESTUDIO SOBRE EL PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL.....</b>	<b>81</b>
<b>4.2.ESTUDIO SOBRE USO DE COMBUSTIBLES EN LA CIUDAD DE EL ALTO</b>	<b>83</b>

<b>4.3.SESIONES EXPERIMENTALES DE LABORATORIO.....</b>	<b>85</b>
<b>5. CAPITULO V: CONCLUSIONES .....</b>	<b>96</b>
<b>6. CAPITULO VI: RECOMENDACIONES .....</b>	<b>97</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>98</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>106</b>

## LISTA DE FIGURAS, TABLAS E ILUSTRACIONES

	Pág.
FIGURA 1-1: Árbol de problemas .....	4
FIGURA 1-2: Árbol de objetivos .....	5
TABLA 2-1: Niveles de Sacarosa, Glucosa y Fructosa en Oca .....	15
FIGURA 2-1: Cantidad en toneladas de residuos sólidos reportados .....	22
TABLA 2-2: Precios del diésel en países de América Latina al 1 de junio del 2020, en bolivianos por cada litro de diésel .....	24
TABLA 2-3: Precios de la gasolina en países de América Latina al 1 de junio del 2020, en bolivianos por cada litro de gasolina .....	25
TABLA 2-4: Precios de los productos internos a nivel nacional de acuerdo a la Agencia Nacional de Hidrocarburos en Bolivia .....	26
TABLA 2-5: Microorganismos utilizados en la producción de etanol.....	30
ILUSTRACIÓN 2-1: Proceso industrial de producción de bioetanol.....	31
ILUSTRACIÓN 2-2: Proceso de producción de bioetanol lignocelulósico .....	33
ILUSTRACIÓN 2-3: Composición de distintos residuos lignocelulósicos como insumos para el bioetanol.....	34
ILUSTRACIÓN 2-4: Tipos de pretratamiento de la materia prima .....	34
TABLA 2-6: Comparación energética de distintos tipos de pretratamiento.....	35
ILUSTRACIÓN 2-6: Opciones para producir etanol de biomasa .....	35
ILUSTRACIÓN 2-7: Rutas tecnológicas para la producción de bioetanol .....	36
TABLA 2-7: Clasificación de los motores de combustión interna .....	40
TABLA 2-8: Clasificación de motores por Método de preparación de la mezcla (mezcla de combustible/ aire) .....	42
TABLA 2-9: Clasificación del Insumo, proceso, utilidad y tecnología aplicada en Latinoamérica .....	44
TABLA 2-10: Precios costos de bioetanol en la República de Argentina.....	47
ILUSTRACIÓN 2-8: Parque automotor nacional en número de vehículos en línea temporal (2004 -2020) .....	52
ILUSTRACIÓN 2-9: Distribución del parque automotor nacional por Tipo de servicio (En porcentaje, 2020) .....	53
TABLA 2-11: Parque automotor nacional por Tipo de servicio (En número de vehículos y porcentaje, 2019-2020) .....	54
TABLA 2-12: Parque automotor según clase de vehículo (En número de vehículos y porcentaje, 2019-2020) .....	54
FIGURA 2-2: Parque automotor según clase de vehículo (En número de vehículos 2019-2020) .....	55
TABLA 2-13: Parque automotor según Departamento (En número de vehículos y porcentaje, 2019-2020) .....	56
FIGURA 2-3: Parque automotor según Departamento (En número de vehículos, 2019-2020) .....	56

ILUSTRACIÓN 2-10: Parque automotor por año de modelo (En número de vehículos, 2020) .....	57
ILUSTRACIÓN 3-1: Comisión de visita al Ministerio de Hidrocarburos y Energías (2022) .....	62
ILUSTRACIÓN 3-2: Esquema del proceso de un análisis documental .....	63
TABLA 3-1: Vehículos de categoría unipersonal .....	66
FIGURA 3-1: Porcentaje de vehículos clasificados por su tipología a nivel nacional al año 2021 .....	67
TABLA 3-2: Demanda de Gasolina en mezcla de Bioetanol (etanol anhidro) en Bolivia al 2021 .....	69
ILUSTRACIÓN 3-3: Porcentaje de principales departamentos consumidores de Gasolina en mezcla de Bioetanol (etanol anhidro) en Bolivia al 2021.....	72
ILUSTRACIÓN 3-4: Población proyectada de principales municipios de Bolivia, 2020 (En miles de habitantes).....	73
TABLA 3-3 Estaciones de servicio de combustibles líquidos en la ciudad de El Alto....	74
TABLA 3-4: Composición química de la Oxalis tuberosum (% materia grasa).....	78
FIGURA 4-1: Participación porcentual del parque automotor por departamento (Bolivia, 2020) .....	82
FIGURA 4-2: Proporción de encuestados que tienen o no vehículo de transporte en encuesta del proyecto (2022) .....	83
FIGURA 4-3: Proporción en la tipología de vehículo en encuesta del proyecto (2022)...	84
FIGURA 4-4: Proporción en la tipología de combustible utilizado en encuesta del proyecto (2022) .....	84
FIGURA 4-5: Identificación de nuestra materia prima a nivel experimental .....	86
FIGURA 4-6: Preparación de la materia prima previo a secado .....	87
FIGURA 4-7: Secado de la materia prima previa a la trituración .....	88
FIGURA 4-8: Recolección de las fases de secado y gránulos para el pulverizado de la Oxalis tuberosa .....	89
FIGURA 4-9: Filtración para preparación de mezcla a destilación .....	90
FIGURA 4-10: Disposición del equipo de destilación por condensación del bioetanol a partir del producto de la hidrólisis y fermentación de la Oxalis tuberosa pulverizada ...	91
FIGURA 4-11: Medición de parámetros organolépticos de las muestras obtenidas de bioetanol en base a pulverizado de la Oxalis tuberosa .....	92
FIGURA 4-12: Presentación del proyecto en Feria Científica del Área de Ciencia y Tecnología .....	93
FIGURA 4-13: Diagrama de flujo general con balance de materia y energía .....	93
FIGURA 4-14: Medición de PH de las muestras obtenidas de bioetanol en base a pulverizado de la Oxalis tuberosa .....	94
TABLA 4-1: Resultados comparativos de los registros e indicadores de las muestras destiladas .....	94
ANEXOS.....	106

## RESUMEN

Se considera una línea estratégica la reducción de los gases de invernadero que por medio de éste tipo de diversificación energética es posible, por otro lado el alta demanda de combustibles fósiles, el incremento de acciones de coadyuven a la eficiencia energética, desarrollo de biocombustibles, alternativas de combustible líquidos y aprovechamiento de los residuos de nuestra urbe y/o el entorno regional. El agotamiento de reservas energéticas ha dado lugar a la búsqueda de alternativas, determinando la necesidad de producir biocombustible a partir de residuos entre ellos el que plantea el presente proyecto. Esto ha surgido a raíz de la necesidad de proteger el medio ambiente, para la preservación de los recursos naturales y potencializar la disposición final. Con el objetivo de reducir ambos problemas, éste proyecto forma parte de una línea de investigación de producción de bioetanol utilizando como materia prima residuos de los tubérculos del sector de provisión de alimentos, sin que éste afecte a la seguridad alimentaria y sea más bien una opción para reutilizar desechos orgánicos. Los tubérculos con alto contenido en glucosa y son transformables a bioetanol, el cual puede ser utilizado como combustible o potenciador de gasolina y es completamente renovable en la naturaleza. El bioetanol se puede obtener a partir de jarabes glucosados producidos en la hidrólisis de residuos orgánicos. La industria de producción de biocombustibles líquidos es la que genera más trabajos en el sector de la energía renovable a nivel mundial. Dentro de ese marco, es importante preparar a las nuevas generaciones de jóvenes de nuestro país en los sectores que tendrán mayor demanda laboral en los próximos años.

El proyecto no plantea ser un problema para la seguridad alimentaria, sino ser un aporte a la economía circular y a la problemática ambiental, además a través de pruebas experimentales de producción de bioetanol, realizar conclusiones que aporten a proyectos sustentables. El mundo se enfrenta a una crisis energética en la mayoría de unidades geopolíticas y la energía provista en países de la región en mayor proporción se suministra a partir del uso de combustibles fósiles, como el petróleo y el gas natural. Entre las fuentes de energía renovable, el bioetanol es una de las mejores fuentes para usarlo en motores diseñados para gasolina o basados en utilización de alcoholes. La reutilización de residuos es parte de las nuevas prácticas en cuanto a cuidado del medio ambiente de la creciente tendencia de la economía circular y sus aportes a la gestión de residuos sólidos, gestión ambiental y propuestas que vayan generando valor agregado a los desechos, entre ellos los residuos orgánicos de los tubérculos. Dentro de éste proyecto en concreto, se desarrolló un análisis del sector energético, en particular, con enfoque en el área de biocombustibles aterrizando en lo que respecta al bioetanol, además se abarcó un estudio para determinar la utilización de combustibles en el parque automotor nacional, el uso de las variedades de etanol utilizables en territorio boliviano e identificar en potenciales consumidores la utilización de bioetanol. Además durante la gestión 2022 y descritos en el presente proyecto, se realizaron sesiones experimentales para la obtención de bioetanol a partir de residuos orgánicos de los tubérculos en instalaciones de laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica realizando pruebas de ignición y cálculo de indicadores producto de la caracterización de la obtención de bioetanol, vinculando los preceptos teóricos y la práctica en el área de investigación de combustibles alternativos, dichos avances podrán ser considerados para futuras investigaciones y aplicaciones en bioetanol de segunda generación y para proyectar alternativas energéticas que puedan ser soluciones para la problemática de deficiencia de producción de combustibles líquidos a nivel nacional.

## ABSTRACT

It is considered a strategic line the reduction of greenhouse gases that through this type of energy diversification is possible, on the other hand the high demand for fossil fuels, the increase in actions that contribute to energy efficiency, development of biofuels, alternatives of liquid fuels and use of waste from our city and/or the regional environment. The depletion of energy reserves has led to the search for alternatives, determining the need to produce biofuel from waste, including the one proposed by this project. This has arisen as a result of the need to protect the environment, to preserve natural resources and enhance final disposal. With the aim of reducing both problems, this project is part of a research line of bioethanol production using waste from tubers from the food supply sector as raw material, without affecting food safety and rather being an option to reuse organic waste. The tubers are high in glucose and are convertible to bioethanol, which can be used as fuel or gasoline enhancer and is completely renewable in nature. Bioethanol can be obtained from glucose syrups produced by the hydrolysis of organic waste. The liquid biofuel production industry is the one that generates the most jobs in the renewable energy sector worldwide. Within this framework, it is important to prepare the new generations of young people in our country in the sectors that will have the greatest labor demand in the coming years.

The project does not propose to be a problem for food security, but to be a contribution to the circular economy and environmental problems, in addition, through experimental tests of bioethanol production, to make conclusions that contribute to sustainable projects. The world is facing an energy crisis in most geopolitical units and the energy provided in the countries of the region is supplied in greater proportion from the use of fossil fuels, such as oil and natural gas. Among renewable energy sources, bioethanol is one of the best sources for use in engines designed for gasoline or based on the use of alcohol. The reuse of waste is part of the new practices in terms of caring for the environment of the growing trend of the circular economy and its contributions to solid waste management, environmental management and proposals that generate added value to waste, among them organic residues from tubers. Within this specific project, an analysis of the energy sector was developed, in particular, with a focus on the area of biofuels, landing with regard to bioethanol, in addition, a study was included to determine the use of fuels in the national automotive fleet, the use of usable ethanol varieties in Bolivian territory and identify the use of bioethanol among potential consumers. In addition, during the 2022 administration and described in this project, experimental sessions were carried out to obtain bioethanol from organic waste from tubers in laboratory facilities of the Gas and Petrochemical Engineering Career, carrying out ignition tests and calculating indicators. Product of the characterization of obtaining bioethanol, linking theoretical precepts and practice in the area of alternative fuel research, these advances may be considered for future research and applications in second generation bioethanol and to project energy alternatives that may be solutions for the problem of deficiency in the production of liquid fuels at the national level.

## CAPITULO I: INTRODUCCION

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial la producción de biocombustibles está avasallada por Estados Unidos y Brasil, tomando en cuenta además su gran parque automotor, sin embargo, no es un punto aislado lo que sucede en nuestro país, siendo el sector de transporte, además en Bolivia, el sector que más energía consume con fuentes no renovables fósiles, generalmente gasolina, diésel de petróleo que además son subsidiadas e importadas.

Las técnicas actuales de producción de etanol a partir de cereales y caña de azúcar presentan el problema de la seguridad alimentaria, también llamado etanol de primera generación. De igual forma, la producción de etanol carburante por medio de estas materias primas no ha llenado las expectativas con respecto a la disminución de gases invernaderos y de aumento en la producción de energía con respecto a la consumida. Existen alternativas que hacen uso de técnicas de la economía circular para obtención de biocombustibles de segunda generación como los que se presenta en el presente proyecto.

El desarrollo de tecnologías basadas en la preservación del medio ambiente es fundamental para la mejora de la calidad de vida y el bienestar de la sociedad actual, así como para llegar a un futuro con perspectivas más optimistas. En este sentido, es básico comprender la importancia de la investigación en la actualidad, por ende, la necesidad de invertir en ella resulta trivial. (BIOMETRANS, 2018)

El crecimiento acelerado de residuos sólidos ha hecho necesario la implementación de desarrollo tecnológico e industrial de proyectos que revaloricen esta materia y así minimizar el impacto que genera la incorrecta disposición final, adicional a esto siempre se obtiene un segundo beneficio brindado por el producto generado. De los posibles usos, la producción de biocombustibles genera un doble impacto ambiental, su revalorización en sí y la competencia para los combustibles fósiles junto con todos los efectos negativos que estos generan: gases invernadero, lluvias ácidas, derrames en ecosistemas, contaminación atmosférica, extinción de especies, entre otros. (BIOMETRANS, 2018)

Por otra parte, el precio de los combustibles se encuentra fluctuante, asimismo teniendo en cuenta que Bolivia es un país gasífero, se ha visto en la necesidad como estado de importar combustibles líquidos para abastecer el mercado interno, cabe mencionar que según el INE (Instituto Nacional de Estadística), Bolivia también importa aditivos para mejorar el octanaje de las gasolinas debido a que existe poca cantidad de hidrocarburos pesados y como acción para disminuir un porcentaje de las importaciones de aditivos es que se presenta el presente documento de investigación, siendo la producción de bioetanol a partir de residuos orgánicos de la tubérculos en la ciudad de El Alto una opción sostenible a mediano o largo plazo para la región tanto de la seguridad energética y generando combustibles de segunda generación como residuos de tubérculos, debido a que en el país tenemos la producción de alimentos en regiones del país, el departamento de La Paz es el primer productor a nivel nacional de tubérculos<sup>1</sup> siendo un potencial a nivel de producción nacional.

Ésta opción de economía circular dinamizaría la obtención de bioetanol reduciendo así un porcentaje de la cantidad de residuos sólidos que se generan a nivel nacional, uno de los objetivos de la Universidad Pública de El Alto es promover la investigación y por ello es que se desarrolla el presente trabajo, a miras de la investigación sobre la obtención de bioetanol para determinar los parámetros que favorecen a la producción de la misma, para que éste sirva como referente en futuras implementaciones o documentación científica para incrementar la escala de éste tipo de proyectos o ampliar el espectro de estudio.

Adicionalmente, tenemos que considerar el impacto de la coyuntura sucedida durante el 2022 en el proyecto de investigación, asimismo esto influirá en los métodos utilizados en cuanto a los estudios en relación a investigación explicativa con fenómenos enfrentados en épocas de post-pandemia, el factor de la gran estanflación económica a nivel mundial y la guerra en Ucrania que puedan afectar en el sector energético, de biocombustibles, además realizando investigación descriptiva en lo que respecta al uso de variantes de etanol en nuestro país, para visualizar los retos y propuestas a plantear producto del presente proyecto.

---

<sup>1</sup> Extraído del artículo "Urea incrementa producción de papa huaycha en La Paz", página oficial de YPFB.

### 1.1.1. EL PROBLEMA

Uno de los últimos desafíos en el último siglo ha sido satisfacer la demanda energética a nivel mundial; los combustibles fósiles son la principal fuente de energía hoy en día en todos los sectores de la sociedad, siendo el mayor demandante el sector de transporte, cuyo suministro va principalmente al parque automotor, sin dejar de lado otros usos como la generación de electricidad remota y otros. Actualmente el aumento de emisiones contaminantes a la atmósfera genera mucha preocupación debido a que genera cambios en la temperatura global, una de las emisiones a comparar es de la generación de dióxido de carbono a través de la quema de combustibles fósiles.

El sector energético tiene un papel decisivo en la economía boliviana ya que es en gran medida el que sustenta el desarrollo económico del país, los problemas de la situación energética actual en Bolivia son la creciente dependencia de productos de petróleo terminados y la escasa diversificación de la oferta energética, debido a la cantidad reducida de materia prima, alternativamente se visionan espectros como el desarrollo de planes para el desarrollo de baterías en base a litio para la conversión del parque automotor, los productos refinados deben ser importados para abastecer el mercado interno, mientras tanto el sector automotriz depende de combustibles subsidiados e importados siendo éste una implicancia económica, dependencia de recursos fósiles.

De ahí la importancia en el uso de las energías renovables y la participación en la investigación para la explotación de éstas, principalmente el uso de biocombustibles, entre ellos el bioetanol al cuál se dedicará el presente proyecto.

Se considera biocombustible a todo aquel combustible de origen biológico, es decir obtenido a partir de la materia orgánica no fósil. En estudios recientes se considera a los biocombustibles como menores generadores de gases de efecto invernadero a la atmósfera comparado con los combustibles fósiles.

El bioetanol es un combustible alternativo atractivo por el hecho de ser un recurso capaz de proporcionar oxígeno en el proceso de combustión, así como por las bajas reducciones de contaminantes que se emiten a la atmósfera. (Giampimetro, 2009)

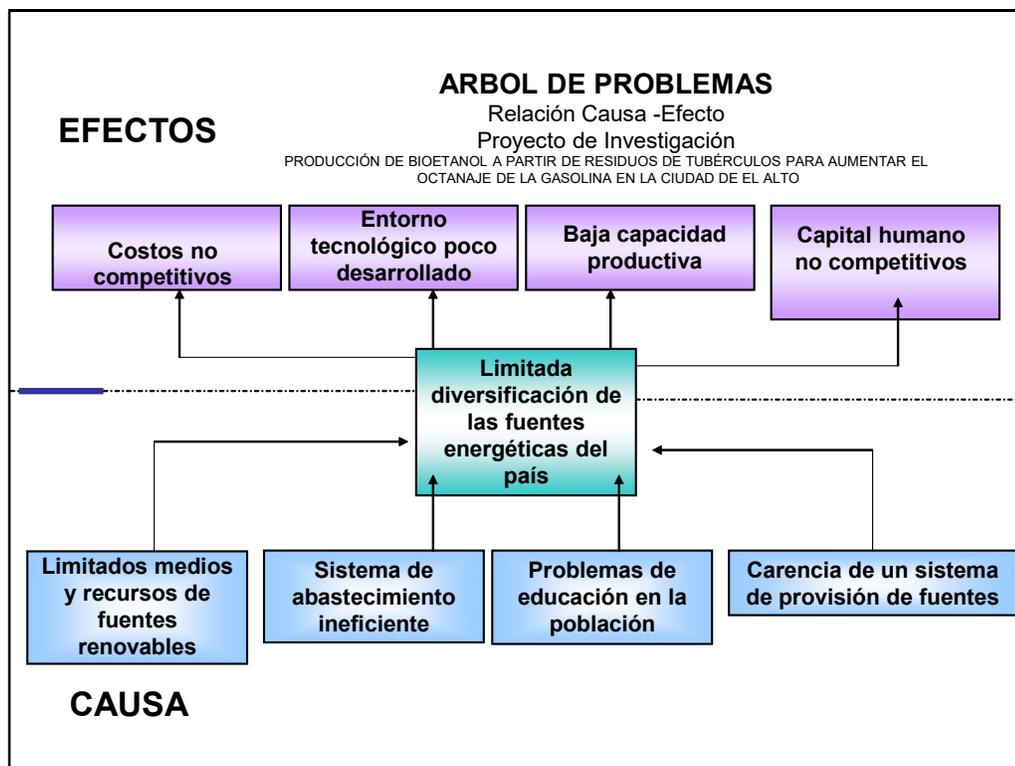
En Bolivia se implementó la gasolina súper etanol que tuvo gran aceptación en la sociedad debido al alto octanaje, desarrollado a partir de la mezcla de gasolina

convencional con bioetanol obtenido a partir de la fermentación de caña de azúcar, en éste caso tratándose de biocombustible de primera generación.

A partir de éstos factores, se proyecta el problema considerando aspectos relacionados como la limitada producción de fuentes de energías renovables, la baja competencia tecnológica relacionada a la producción de biocombustibles de segunda generación, brechas educativas para concientizar a la población en el uso de fuentes alternativas, produciendo un bajo potencial productivo.

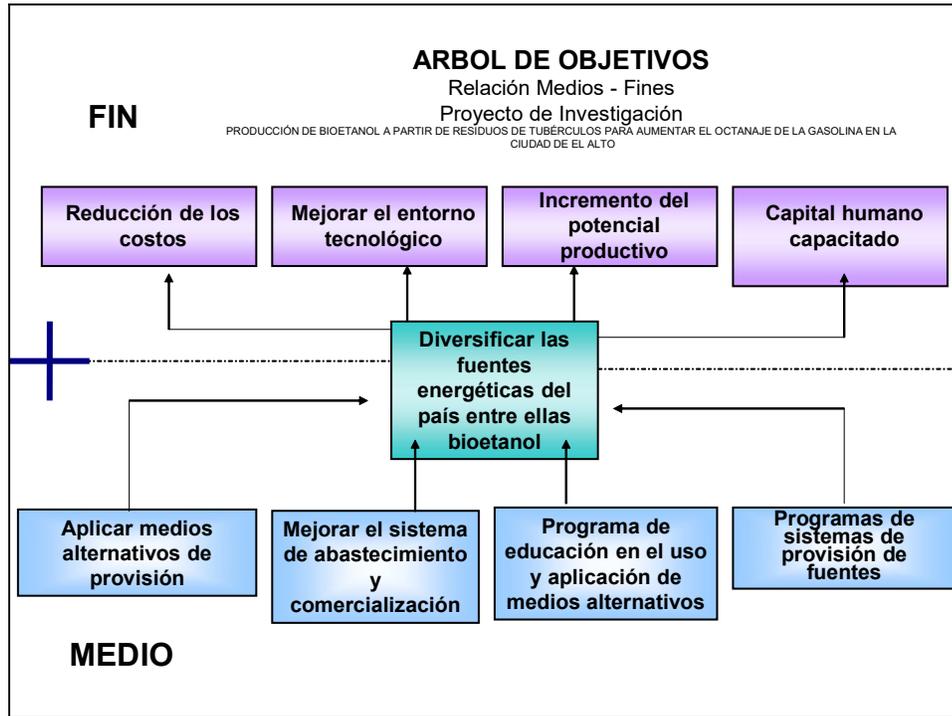
Realizando el planteamiento del problema con la metodología del árbol de problemas y objetivos:

**FIGURA 1-1: Árbol de problemas**



*Fuente: Elaboración propia con base a la investigación secundaria realizada, 2022.*

FIGURA 1-2: Árbol de objetivos



Fuente: Elaboración propia con base a la investigación secundaria realizada, 2022.

Del análisis elaborado en las Figuras 1-1 y 1-2, se plantea que el problema es:

“Limitado aprovechamiento de residuos como los residuos orgánicos de los tubérculos como alternativa energética para la producción de bioetanol en la Ciudad de El Alto”.

### 1.1.2. EL OBJETIVO DE LA INVESTIGACIÓN

Identificar en base a las variables sujetas a caracterización y los estudios de relevamiento, propuestas para la producción de bioetanol a partir de residuos de los tubérculos desde la Universidad Pública de El Alto.

### 1.1.3. LA HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

La formulación de la hipótesis para el presente proyecto es la siguiente:

“Es el aprovechamiento de residuos orgánicos de los tubérculos en la ciudad de El Alto una alternativa para la producción de bioetanol para ser una propuesta energética dentro de los biocombustibles líquidos”.

## 1.2. LA JUSTIFICACIÓN

Según el análisis realizado sobre la producción de combustibles derivados del petróleo, el mundo se enfrenta a un creciente agotamiento de los recursos energéticos, basados principalmente en combustibles no renovables, mientras que el consumo de energía aumenta a niveles récord. La biotecnología ofrece diversas alternativas tecnológicas tanto como la bioenergía para éste fin. Bolivia es un país productor de gas con baja producción de combustibles líquidos que tienen problemas para abastecer el mercado interno. Por esta razón, Bolivia ahora está entrando en la era de la energía verde para dejar de generar subsidios. La sociedad ha buscado incontables alternativas para obtener una solución realizable a la problemática ambiental que afronta el planeta, en varias oportunidades nuestras autoridades estatales realizan programas y compromisos a favor de la busca de energías amigables con el medio ambiente. La producción de biocombustibles en el mundo ha crecido exponencialmente y se muestra como la principal oportunidad de sustitución que tienen los países desarrollados y emergentes para responder a la demanda energética y garantizar el consumo interno, así como también, mitigar los efectos producidos por los gases de efecto invernadero. Por tal motivo, la utilización de residuos agroindustriales como materia prima de bajo costo, para la obtención de productos químicos finos por biotransformación está ganando interés. Esta opción de transformar desechos en nuevas materias primas se perfila como una opción atractiva para reducir la dependencia del petróleo y en contraste con la economía circular, al mismo tiempo, obtener compuestos que son económica o técnicamente inviables de obtener por síntesis química tradicional. El uso racional de los recursos es un factor importante que orienta al diseño a sumar esfuerzos para crear estrategias de consumo y reducción de impactos generados a lo largo del ciclo de vida de los productos; de esta forma, en los procesos de desarrollo y fabricación de productos debe considerarse el aprovechamiento concientizado de los residuos que se generan, así como la utilización de la materia prima residual para la creación de nuevos productos, ayudando además, a la búsqueda del equilibrio sostenible del planeta. Actualmente, la utilización de residuos agroindustriales, como materia prima de bajo costo, en procesos biotecnológicos para la

obtención de productos químicos finos, se perfila como una opción atractiva para reducir la dependencia del petróleo, fomentando la economía circular.

## CAPITULO II: MARCO TEÓRICO

Dado que el marco teórico se trata sobre la base conceptual del proceso de producción de bioetanol a partir de residuos de tubérculos para aumentar el octanaje de la gasolina, parte del marco teórico considera la producción y consumo de tubérculos para continuar con la descripción del proceso por etapas, luego realizando un análisis dentro del espectro tecnológico, finalmente un análisis desde una perspectiva geográfica. Se trata de un estudio comparativo sobre la situación de la ciudad de El Alto en cuanto al consumo de combustibles frente a otras áreas metropolitanas.

### 2.1. CARACTERÍSTICAS DEL ETANOL

El etanol, alcohol etílico y actualmente conocido también como bioetanol, porque se obtiene a partir de la biomasa, es un biocombustible cuya fórmula química es:  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$  y es considerado “amigable con el ambiente” debido a que sus procesos de obtención son basados en procesos verdes, está clasificado como biocombustible. El bioetanol en sus inicios era obtenido a partir de la caña de azúcar y posteriormente de maíz debido a su bajo costo. A este tipo de etanol se le denomina etanol de primera generación. Sin embargo, como estas materias primas son también utilizadas para la demanda alimenticia, se vieron en la necesidad de desplazarlas y buscar otras opciones de materia prima que no fueran comestibles, entonces surge el etanol de segunda generación, el cual es obtenido a partir de desechos agrícolas o forestales (llamada materia *lignocelulósica*). (L. Alexis Alonso Gómez, 2018)

### 2.2. OCTANAJE

El octanaje o índice de octanos determina la capacidad antidetonante del motor, teniendo en cuenta la presión y la temperatura del carburante. En otras palabras, hace referencia a la calidad del combustible, pues las gasolinas que tienen un alto índice de octano producen una combustión más suave y efectiva. El grado de octanaje mide la capacidad de la gasolina para resistir el golpeteo del motor o sonido metálico generado por la ignición prematura de la mezcla comprimida de combustible y aire en uno o más de los cilindros del motor. El Número de octano, a veces denominado octanaje, es una escala que mide la capacidad antidetonante del combustible (como la gasolina) cuando se

PETROQUÍMICA

comprime dentro del cilindro de un motor. Como dato: Para saber qué tipo de gasolina utiliza tu coche normalmente se encuentra en el tapón de llenado una pegatina que lo indica, pero para estar seguros al 100% siempre se puede recurrir al manual de usuario de nuestro vehículo. (American Petroleum El Salvador, 2021)

Los procesos de mejoramiento provocan reacciones químicas que combinan o reestructuran las moléculas en los flujos de bajo valor para producir otros de mayor valor, principalmente una mezcla de componentes de gasolina con alto octanaje y bajo contenido de azufre. Todos los procesos de mejoramiento de principal interés emplean catalizadores, incluyen moléculas de hidrocarburo pequeñas y se aplican a la producción de gasolina. Entre los procesos de mejoramiento, los más importantes son el reformado catalítico, la alquilación, la isomerización, la polimerización y la esterificación. (Bethesda, 2011)

El octanaje es una escala que mide la capacidad antidetonante del carburante (como la gasolina) cuando se comprime dentro del cilindro de un motor. Para poder determinarlo, se requiere efectuar la prueba en un motor especial de un solo cilindro, aumentando de forma progresiva la compresión hasta que se manifiestan las detonaciones. (Ramirez, 2019)

El etanol en sí mismo tiene un octanaje de 113 y, a diferencia de la gasolina, su composición química ya incluye oxígeno, lo que favorece una mejor combustión. En muchas ocasiones se utiliza como oxigenante de gasolinas, con lo que se reducen emisiones de hidrocarburos sin quemar y de monóxido de carbono. (Motorpasion México, 2019)

El bioetanol tiene alrededor de 110 octanos, mientras que la gasolina Premium y Magna en México contienen 93 y 87 octanos, respectivamente, lo que significa que un motor de combustión interna que usa bioetanol es más eficiente que uno de gasolina. Sin embargo, sería muy costoso y difícil cambiar todos los motores convencionales de gasolina por motores de etanol. Entonces, han surgido otras alternativas, las cuales consisten en mezclar la gasolina común con un porcentaje de bioetanol, esto da como resultado un incremento en el octanaje de la gasolina, haciendo más eficiente su combustión. (Academia de Ciencias de Morelos, A.C, 2022)

### 2.3. VARIABLES DEL OCTANAJE

El índice de octanos u octanaje es una de las especificaciones más importantes de una gasolina, depende de su composición química y representa una medida de la resistencia a la autoignición del combustible. (Carlos José Boluda, 2019)

La complejidad química de las gasolinas se debe, en parte, a la elevada diversidad estructural de sus componentes, dado que pueden estar presentes casi todos los isómeros posibles de los hidrocarburos que tienen entre 4 y 12 átomos de carbono. Así, a los múltiples isómeros constitucionales que presentan sus hidrocarburos alifáticos saturados, lineales, ramificados y cíclicos, hay que añadir los compuestos aromáticos y una fracción menos importante de olefinas. No obstante, pese a esta diversidad potencial, la fracción mayoritaria del combustible está representada por un grupo mucho más reducido de compuestos. Las especificaciones para las gasolinas incluyen la densidad, la presión de vapor, la curva de destilación, el índice de octanos y el contenido en determinados compuestos como benceno, aromáticos totales, olefinas, compuestos oxigenados y sulfurados. Algunos de estos parámetros, como es el caso del índice de octanos, se relacionan con el correcto funcionamiento de los motores y por tanto están en relación con las especificaciones técnicas de los fabricantes de vehículos. Otros parámetros en cambio, como el contenido en benceno y aromáticos totales, se relacionan además con la protección de la salud y el medio ambiente. (Carlos José Boluda, 2019)

Actualmente existen ciertos avances tecnológicos que han permitido mejorar la calidad de la gasolina elevando poco a poco el octanaje, y es que, a mayor índice de octanos, más comprensión soporta la gasolina, lo que se traduce en una mejor calidad de la gasolina. Esta calidad se puede mejorar con nuevas técnicas de refinación mediante el reformado catalítico, un proceso químico que busca eliminar el azufre y el nitrógeno de la materia prima, la nafta. También existe la posibilidad de utilizar el proceso de isomerización para cambiar la disposición de los átomos de la gasolina, y mejorarla de esta forma. (Zoilorios, 2018)

#### 2.3.1 ÍNDICE DE OCTANO (RON Research Octane Number)

El octanaje o índice de octano, también denominado RON (por sus siglas en inglés, Research Octane Number), es una escala que mide la capacidad antidetonante del combustible (como la gasolina) a detonar cuando se comprime dentro del cilindro de un motor. (Capitales, 2016)

### **2.3.2. METODOS DE CALCULO DEL INDICE DE OCTANO**

#### **2.3.2.1. DEFINICIÓN DE ÍNDICE DE OCTANO U OCTANAJE**

Para calcular el índice de octano, se establecieron dos tipos de hidrocarburos que sirven como referencia. Estos son el isooctano (con ocho carbonos) y el heptano (siete carbonos), pues el comportamiento de los hidrocarburos es genérico al detonar con facilidad las n-parafinas, todo lo contrario que las i-parafinas.

Al primero se le asigna un poder antidetonante de 100, mientras que al segundo se le asigna un valor de 0. El octanaje de cada gasolina se asigna al compararlo con ambos hidrocarburos. A modo de ejemplo, una gasolina de 95 octanos tiene la misma capacidad antidetonante que una mezcla de isooctano y heptano al 95% y 3% respectivamente. (Plaza, motor.es)

### **2.4. DIFERENCIA ENTRE RON Y MON DEL OCTANAJE**

Cuando nos disponemos a repostar en una estación de servicio, tenemos generalmente dos tipos de gasolinas a nuestra disposición: gasolina 95 y 98. Estas son las denominaciones comerciales, pero realmente las especificaciones técnicas de cada gasolina incluyen **un valor para dos situaciones distintas**:

**R.O.N (Research Octane Number):** determina el comportamiento de la gasolina en entornos urbanos, es decir, a bajas revoluciones y temperaturas, además de con numerosas aceleraciones. Esta medición es menos exacta y suele estar unos 10 puntos por encima del M.O.N.

**M.O.N (Motor Octane Number):** este índice es medido en un motor estático y determina el comportamiento de la gasolina a alto régimen y conducción regular propias de trayectos en carretera. El motor se sobrecarga más y se utiliza una mezcla precalentada, revoluciona más el motor y provocando tiempos de ignición variables.

A modo de ejemplo, sabemos que la gasolina 95 contiene un R.O.N de 95 octanos y un M.O.N de 85 octanos. la diferencia entre estos valores se denomina «**sensibilidad**» y es variable para cada componente de la gasolina comercial, lo que resultará en distintas prestaciones. (Plaza, motor.es)

## 2.5. TECNOLOGÍAS PARA LA MEJORA DEL OCTANAJE

Al igual que se busca mejorar la eficiencia de los componentes de un vehículo, también se está trabajando en desarrollar tecnologías que permitan mejorar el octanaje de los combustibles. Entre estas destacan:

- **Evitar los aditivos en la gasolina** mediante procesos como técnicas de reformado catalítica, isomerización y refinación, por citar algunos. De esta manera, disminuye la necesidad o se elimina el tener que emplear tetraetilo de plomo, que es muy contaminante.
- **Creación de aditivos ecológicos** como Metil-Ter-Butil-Éter (MTBE) y el Etil-Terc-Butil-Éter (ETBE). Ambos sustituyen al tetraetilo de plomo. Como beneficios extra: proporcionan una mayor oxigenación al combustible, mejoran la combustión y, como consecuencia, el rendimiento del motor también mejora. (2022 Renting Finders)

### 2.5.1. ESTABLECER MEDICION DE OCTANAJE DE LA GASOLINA Y ETANOL A NIVEL NACIONAL

Número de octano comercial =  $(RON + MON)/2 = (R + M)/2$

Los análisis completos son los requisitos y parámetros de calidad que deben tener los productos derivados del petróleo, estos están establecidos en el Decreto Supremo 1499 de fecha 20 de febrero de 2013, Anexo I para Carburantes y Anexo II para Lubricantes, el proponente debe considerar realizar los análisis completos de acuerdo a estos parámetros, para los cuales deberá proponer los equipos, metodología y ubicación de cada uno. Los Carburantes a tomar en cuenta son los siguientes:

Gasolina Especial, Gasolina Premium, Diésel Oíl, GLP – Jet Fuel (Hidrocarburos, anh.gob.bo, 2014), los precios habilitados en las estaciones de servicio se encuentra en el Anexo 2-2.

## 2.6. PROPIEDADES DEL ETANOL

El etanol o alcohol etílico es el producto químico orgánico sintético más antiguo usado por el hombre, se presenta como un líquido incoloro e inflamable con un punto de ebullición de 78 °C, su fórmula química es  $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$ , siendo el componente activo esencial de las bebidas alcohólicas, además es una de las materias primas importantes para las síntesis. Puede obtenerse a través de dos procesos de elaboración: la fermentación o descomposición de las azúcares contenidas en distintas frutas, y la destilación, la cual consiste en la depuración de las bebidas fermentadas (Garzón Castaño, 2009).

A continuación se describen de acuerdo a fases de la producción del bioetanol.

## 2.7. FERMENTACIÓN

Es un proceso que transforma las moléculas de azúcar a diferentes productos que dependerán del sustrato y del tipo de microorganismo que se utilice, las principales sustancias que se obtienen de la fermentación son el alcohol etílico, ácido láctico, ácido butírico, ácido acético, entre otros y de acuerdo a estos se denomina el tipo de fermentación, además algunas fermentaciones como la alcohólica producen dióxido de carbono (Mathews, 2004). Con la fermentación se realiza la conversión de los carbohidratos en alcohol. La determinación de los grados alcohólicos (GA) probables, expresados también en grados Gay Lussac (°GL) se puede hallar en función de los grados Brix, grados Baumé y de la densidad. (Ough, 2001)

## 2.8. PRODUCCIÓN DE ETANOL VÍA FERMENTATIVA

La fermentación es un proceso biológico resultante del metabolismo de bacterias, levaduras o mohos. Todos los organismos tienen un proceso conocido como la glucólisis que ocurre en el citoplasma de sus células. La glucólisis convierte una molécula de azúcar grande (glucosa, fructosa) en dos pequeñas moléculas de ácido pirúvico liberando energía en el proceso. En ausencia de oxígeno (condiciones anaeróbicas) el organismo puede ácido pirúvico ruta a una vía de la fermentación alcohólica. La producción de etanol por la acción de levadura sobre malta o extractos de fruta ha sido llevada a cabo a gran escala por muchos años y fue el primer proceso industrial para la producción de un metabolito microbiano. Es por la vía fermentativa que se obtiene la mayor cantidad de

etanol a nivel mundial. El 95% del etanol en el mundo se obtiene por fermentación a partir de materias primas que contengan carbohidratos la gran aplicabilidad del etanol en procesos tradicionales como por ejemplo solvente, alimento, bebidas y biocombustible (Ertola, 2003).

## **2.9. MATERIAS PRIMAS Y SU IMPORTANCIA EN EL PROCESO FERMENTATIVO**

Para la producción de etanol han sido utilizadas diferentes fuentes de carbono como materia prima; estas deben ser transformadas con facilidad en azúcar fermentable. Su uso práctico estará determinado por el rendimiento en etanol, por su costo y el tipo de microorganismo que se utilice. Varios autores, coinciden en definir tres tipos de materias primas para la producción de etanol, los primeros materiales portadores de azúcares simples que contienen carbohidratos como fuente de azúcares. (Tales como jugo de caña de azúcar, melazas, sorgo dulce, etc.).

El etanol se produce por fermentación de estas materias primas con levaduras u otros microorganismos. Las de la primera clase fermentan directamente. El segundo tipo consta de hidratos de carbono complejos, como el almidón, que primero se deben convertir en azúcares fermentables mediante la acción de enzimas. Las sustancias celulósicas de la tercera clase se convierten en azúcares fermentables por hidrólisis con ácidos inorgánicos, principalmente residuos lignocelulósicos. (Martínez T. J., 2002).

El empleo de alimentos como fuente de obtención de bioetanol (bioetanol de primera generación) compite con el mercado mundial de alimentos con la consiguiente subida de los precios de los mismos frente a la alta demanda de combustibles. Este motivo ha suscitado que en las últimas dos décadas las investigaciones se hayan centrado en la búsqueda de nuevas fuentes de obtención de bioetanol más rentables, eficaces y menos perjudiciales para el medioambiente y la sociedad. Una alternativa es el uso de los residuos lignocelulósicos resultado de procesos agrícolas, forestales o industriales (Murray, 1996)

De acuerdo al trabajo denominado "Caracterización de diez variedades de oxalis tuberosa molina (oca) y Alternativas De Industrialización" se tienen interesantes niveles de sacarosa, glucosa y fructosa para el producto fresco y se ven niveles mucho más altos para su versión en harina:

**TABLA 2-1: Niveles de Sacarosa, Glucosa y Fructosa en Oca**

**TABLA 1 – SACAROSA, GLUCOSA Y FRUCTOSA EN OCA FRESCA (%)**

VARIEDAD	Sacarosa producto fresco	Glucosa producto fresco	Fructosa producto fresco
Kellu Qayara	0,58	0,64	0,67
Zapallo	0,80	0,81	0,57
Kellu Kamusa	0,87	1,03	0,62
Yurac	0,66	0,78	0,47
Titicoma	0,70	0,07	1,03
Señora	0,74	0,81	0,44
Sausini	0,81	0,84	0,53
Tani	0,56	0,63	0,43
Puca Kamusa	0,67	0,52	0,42
Lluchu	0,77	0,62	0,32

**TABLA 2 - SACAROSA, GLUCOSA Y FRUCTOSA EN HARINA DE OCA (%)**

VARIEDAD	Sacarosa en harina	Glucosa en harina	Fructosa en harina
Kellu Qayara	3,04	3,59	3,75
Zapallo	3,94	3,96	2,81
Kellu Kamusa	5,79	6,87	4,10
Yurac	3,30	3,70	2,24
Titicoma	3,01	3,38	5,40
Señora	4,29	4,26	2,29
Sausini	3,08	4,44	2,81
Tani	4,31	3,78	2,58
Puca Kamusa	4,40	2,86	3,15
Lluchu	4,40	4,03	2,08

*Fuente: Extraído de (Torres Santa Cruz, 2005)*

Del anterior cuadro se puede concluir que para nuestros propósitos de investigación realizaremos pruebas con oca pulverizada o en polvo.

## 2.10. PROCESO DE OBTENCIÓN DE BIOETANOL

Proceso de obtención de bioetanol Las técnicas de producción han evolucionado con el paso de los años, en donde tienen la posibilidad de distinguirse 2 generaciones de producción de bioetanol.

Cualquier residuo vegetal podría ser transformado en sacarosa y luego ser convertido en bioetanol. Por otro lado, la celulosa no se estima para uso alimentario, por lo cual la probabilidad de su aprovechamiento es vasta y se considera una fuente óptima de materia prima para la producción de combustibles de manera sostenible.

## MÉTODOS DE PRETRATAMIENTO QUÍMICO

**PETROQUÍMICA**

El pretratamiento químico por oxidación húmeda es un procedimiento bastante usado en industria papelera como blanqueador, debido a que tiene la virtud de no dejar residuos en la biomasa, descomponiéndose en agua y oxígeno.

Es un procedimiento de pretratamiento de biomasa lignocelulósica efectivo, puesto que quita selectivamente lignina y xilosas sin tener un impacto destacable en la celulosa, sin embargo, así mismo reduce la cristalinidad de la biomasa y optimización la digestibilidad enzimática de la celulosa.

Se sumerge el material lignocelulósico a una temperatura mínima de 60°C por 24 horas, se genera un hinchamiento de la biomasa, teniendo sitio actitudes como solvatación y saponificación. La eficiencia de este procedimiento es dependiente del contenido de lignina de los materiales. El mecanismo de hidrólisis alcalina de la biomasa parece estar con base en la saponificación de los enlaces ésteres intramoleculares que incorporan los xilenos de la hemicelulosa y otros elementos, como la lignina u otros elementos de la hemicelulosa. La efectividad de este pretratamiento es dependiente del contenido de lignina del material a intentar.

**FERMENTACIÓN**

La fermentación alcohólica, fermentación etílica, o del etanol, es un proceso de tipo biológico, en el que se desarrolla una fermentación anaerobia, o sea, sin presencia de oxígeno. Esta clase de fermentación se debería a la actividad de microorganismos especiales que transforman azúcares, como la glucosa, la fructosa, etcétera. Una vez que la fermentación se emplea en el proceso de producción de bioetanol desde biomasa lignocelulósica, los azúcares liberados a lo largo de la hidrólisis enzimática son fermentados con la consiguiente producción de etanol y CO<sub>2</sub>. La conversión estequiométrica de la glucosa y la xilosa a etanol es de alrededor de 0,51 gramos de etanol por gramo de sacarosa.

**DESTILACIÓN**

El proceso de destilación es elemental para purificar el etanol producido en la fermentación. En los procesos de destilación convencionales, la división del etanol no es completa en su integridad, debido a que se muestra un punto azeotrópico de la mezcla etanol-agua cerca del 95 % de concentración de etanol.

## **DESHIDRATACIÓN**

La deshidratación del etanol es importante si se busca implementarlo como combustible en motores de combustión interna, debido a que la existencia de agua puede influir la eficiencia de la combustión, además de crear un mal por corrosión al motor; tal, generar un combustible anhidro es importante. Ciertos procesos modernos de producción de etanol anhidro trabajan con reactivos que rompen el punto azeotrópico como benceno, di etil éter y pentano, así como disoluciones salinas. (Monroy, Generación de bioetanol como combustible alternativo a partir de compuestos, 2017)

### **2.11. PARÁMETROS A CONTROLAR EN EL PROCESO DE FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA**

La fermentación alcohólica es una de las etapas principales que transforman el mosto o zumo azucarado, en un líquido con un determinado contenido de alcohol etílico. Aproximadamente dura una semana, a una temperatura de 20 °C, y se traduce por una disminución del mosto. Esto implica que una vez que la materia prima tiene contacto con un sustrato rico en nutrientes, azúcares u otro componente que sea iniciador de proceso de fermentación; se producirá un líquido conteniendo alcohol. El éxito de una buena fermentación depende de la eficacia del tratamiento preliminar: concentración del azúcar, pH y temperatura óptimos; la adición de sustancias nutritivas al mosto, contaminación por otros microorganismos, empleo de un organismo resistente a altas concentraciones de alcohol, mantenimiento de condiciones anaerobias y la inmediata destilación del producto fermentado (Prescott S., C. Gordon. 1992).

#### **a) Temperatura**

Es uno de los factores más importantes al momento de realizar cualquier reacción, especialmente si estas vienen dadas por microorganismos, ya que estos tienen un rango específico de temperatura para que sea posible su crecimiento. (Acosta Romero, C. 2012). La temperatura durante la fermentación debe controlarse ya que durante la misma se produce un relativo aumento de esta, pues la descomposición de los azúcares produce una reacción exotérmica es decir con desprendimiento de calor. La temperatura óptima

para la fermentación oscila entre 24 y 32°C siendo 27°C la más adecuada. Si la temperatura es muy baja la fermentación es lenta, si la temperatura excede de los 35°C disminuye la acción de los microorganismos y si esta aumenta por encima de los 40°C esta se puede detener.

### **b) Indicador de acidez pH**

El pH tiene una gran influencia en los productos finales del metabolismo anaerobio, por lo tanto es importante tener un control sobre esta variable durante el desarrollo del proceso de fermentación puesto que los microorganismos poseen un pH óptimo en el cual tienen mayor velocidad de crecimiento y rendimiento.

### **c) Nutrientes**

Un medio de cultivo debe de tener todos los elementos necesarios para el crecimiento microbiano, para esto se debe tener en cuenta los requerimientos nutricionales del microorganismo con el cual se va a trabajar.

### **c) Aireación**

La ausencia o presencia de oxígeno permite una selección tanto del microorganismo como de los productos del mismo. Cuando el cultivo se realiza en presencia de oxígeno la fermentación se denomina aeróbica y cuando este carece de oxígeno se denomina anaeróbica. Si la fermentación es anaeróbica, la mayor parte del carbono se emplea como energía y solo el 2 % se asimila como material celular. *Saccharomyces cerevisiae* es una levadura que posee alta actividad metabólica, por lo que en un proceso fermentativo en fase aerobia se caracteriza por la producción de biomasa y en fase anaeróbica generalmente por la producción de etanol.

### **d) Productividad**

La productividad se define como la producción de biomasa por unidad de volumen, por unidad de tiempo de cultivo, dado en concentración de biomasa (g/L) en función de tiempo (hr.).

## **2.12. LIMITANTES DE LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA**

### **a) Concentración de alcohol**

**PETROQUÍMICA**

Las levaduras, presentan cierta resistencia a las concentraciones de alcohol que se producen durante la fermentación, debido a que el etanol, inhibe el transporte de Dxilosa, amonio, glicina y algunos aminoácidos, así como afecta la función y estabilidad de algunas enzimas citoplasmáticas como la hexoquinasa, debido a que a concentraciones críticas de etanol, se presenta la formación de un complejo hexoquinasa-etanol el cual puede detener la reacción glucosa a glucosa-6 fosfato. En conclusión la tolerancia al alcohol depende de la habilidad de la célula para exportar el etanol del interior al medio externo, un proceso que depende de la composición de la membrana y de la fluidez de la misma. La célula modifica la composición en ácidos grasos de la membrana para minimizar los efectos de la fluidez que produce el etanol, de la misma manera la adaptación de las levaduras al etanol también obedece a una modificación de la composición lipídica de las membranas debido básicamente a un enriquecimiento de las mismas en esteroides y ácido grasos de cadena larga, de esta manera para las levaduras poder adaptarse a altas concentraciones de alcohol debe existir un aumento del contenido de ácidos grasos insaturados con respecto a los saturados y un aumento en la longitud de las cadenas carbonadas de los ácidos grasos.

**b) Acidez del sustrato**

El pH es un factor limitante en el proceso de la fermentación debido a que las levaduras se ven afectadas por el ambiente en el cual se desarrollan es decir alcalino o ácido. Las levaduras tienen rango óptimo de pH que va desde 3.5 hasta 5.5. En el proceso de fermentación, el pH tiende a disminuir debido a la producción de ácidos, formados al tomar los nitrógenos de los aminoácidos perdiendo su carácter anfótero. En los procesos industriales, se hace uso de soluciones tampón para mantener niveles óptimos de acidez.

**c) Concentración de Azúcares**

Las concentraciones altas de azúcares afectan los procesos de osmosis dentro de la membrana celular, el rango óptimo de concentración de azúcar es de 10 a 18%, puesto que a concentraciones de 22% las levaduras empiezan a tener problemas en su proceso de respiración celular.

**d) Temperatura**

La temperatura a la que se lleva a cabo la fermentación alcohólica afecta:

- Al crecimiento de las levaduras y por tanto a la duración de la fermentación.
- A la contribución que las diferentes especies de levaduras tienen en la fermentación y
- Al metabolismo de las levaduras, que es el que determina la composición química y organoléptica.

Las levaduras son microorganismos mesófilos, por lo tanto su temperatura no puede sobrepasar a 50°C, puesto que a esta temperatura o temperaturas superiores se produce su muerte. Por lo tanto debido a que la fermentación es un proceso exotérmico, se debe mantener en el mismo un control de temperatura para mantener la temperatura en su valor óptimo que es de 30 °C.

#### e) Ritmo de crecimiento de las cepas

Durante la fermentación las cepas crecen en número debido a las condiciones favorables que se presentan en el medio, esto hace que se incremente la concentración de levaduras.

Para la obtención de etanol, se pretende impulsar las vías biotecnológicas empleando levaduras y hongos que además pueden ser microorganismos nativos o genéticamente modificados, cuyas rutas metabólicas convierten diferentes sustratos orgánicos en etanol.

Por otra parte, los microorganismos pueden clasificarse según su necesidad de oxígeno: existen los aerobios estrictos (que llevan a cabo su metabolismo únicamente en presencia de oxígeno atmosférico), también están los anaerobios estrictos (que únicamente pueden crecer en ausencia de oxígeno) y los organismos facultativos (que pueden crecer en situaciones de aerobiosis y de anaerobiosis, en estos últimos se clasifican las levaduras industriales y por supuesto las levaduras alcoholeras.

Estos microorganismos pueden ser cepas naturales que metabolizan azúcares de seis carbonos, cepas naturales que consuman tanto azúcares de seis como de cinco carbonos, microorganismos modificados genéticamente con la finalidad de aprovechar todo el sustrato presente en el medio o un cultivo mixto para realizar una fermentación. Los cultivos microbianos utilizados en la fermentación deben tener las siguientes características: tolerancia al etanol, a las altas temperaturas, a altas concentraciones de azúcar, rendimiento alcohólico, eficiencia en la fermentación y productividad.

### 2.13. MICROORGANISMOS UTILIZADOS EN LA FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

La levadura es la fuente principal para empezar la incubación, multiplicación de las células encargadas de transformar todo el azúcar contenido en la melaza en alcohol dentro del proceso de fermentación.

Las levaduras son los microorganismos más utilizados para la producción de etanol por la vía fermentativa, debido a su alta productividad en la conversión de azúcares a bioetanol y a que se separan mejor después de la fermentación. Además, la producción de toxinas es muy inferior a la de otros microorganismos. Entre las especies más utilizadas están: *Saccharomyces cerevisiae*, *S. ellipsoideus*, *S. anamensis*, *Candida seudotropicalis*, *S. carlsbergensis*, *Kluyveromyces marxianus*, *Candida bytyrii*, *Pichia stipatis*, *Schizosaccharomyces pombe* y *Pichia membranaefaciens*. Las principales responsables de esta degradación son las levaduras. *Saccharomyces cerevisiae*, es la especie de levadura usada con mayor frecuencia, pero existen diversos estudios que comprueban la producción de alcohol por otros tipos de levaduras y algunas bacterias como *Zymomona mobilis*, pero su explotación a nivel industrial es mínima.

*Saccharomyces cerevisiae* es la levadura más ampliamente utilizada en las fermentaciones industriales, metaboliza los azúcares: sacarosa, glucosa, fructosa, maltosa y maltotriosa en distinto orden. Desafortunadamente, *Saccharomyces cerevisiae*, es incapaz de hidrolizar el almidón e incluso las dextrinas, es necesario efectuar un pretratamiento de hidrolisis con enzimas bacterianas para que *Saccharomyces cerevisiae* pueda transformar los oligosacáridos obtenidos en etanol.

### 2.14. DESTILACIÓN

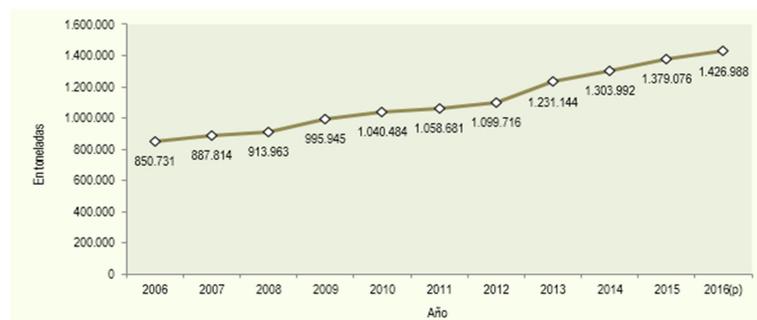
La destilación es una operación unitaria, siendo uno de los métodos más utilizados para separar y purificar líquidos. El objetivo principal de este proceso es aprovechar las diferentes volatilidades de los componentes presentes en una mezcla y separar los volátiles de los no volátiles. La efectividad de esta operación unitaria depende de la

cantidad de la muestra, el equipo de destilación que se utilice. El objetivo consiste básicamente en separar el etanol del agua. El etanol es una sustancia más volátil que el agua, pues su presión de vapor es menor, por tanto cualquier par de sustancias que no tengan tensiones de vapor idénticas en todo el intervalo de temperaturas pueden separarse por destilación. A presión atmosférica las temperaturas de ebullición son 78,2 °C y 100 °C para el etanol y el agua respectivamente, se considera que para realizar una destilación sencilla la diferencia entre puntos de ebullición debe ser de unos 70 a 80 °C, por tanto, la destilación de la mezcla etanol agua se realiza por destilaciones sencillas repetidas, precisamente en lo que va a experimentaciones considerando la presión atmosférica aplicable a la ciudad de El Alto, existe variaciones en las temperaturas de ebullición del bioetanol y del agua correspondientemente. Este proceso va obteniendo un vapor que es cada vez más rico en el componente más volátil; el etanol, este se vuelve a destilar y así sucesivamente el líquido se va enriqueciendo en etanol, considerando que las múltiples destilaciones pueden llegar a obtener bioetanol de mayor pureza.

## 2.15. RESIDUOS SÓLIDOS EN BOLIVIA

Residuos sólidos en ciudades capitales y El Alto llegó a más de un millón de toneladas. En el Día Mundial del Medio Ambiente, el Instituto Nacional de Estadística dio a conocer que la recolección de residuos sólidos en las ciudades capitales de los nueve departamentos del país y El Alto llegó a 1.426.988 toneladas el 2016, registrando en una década el incremento de 576.257 toneladas, según datos obtenidos de los Registros Administrativos de las Empresas Municipales de Aseo.

**FIGURA 2-1: Cantidad en toneladas de residuos sólidos reportados**



*Fuente: Extraído del reporte de registros administrativos de las Empresas Municipales de Aseo (2016)*

Se observa que en Santa Cruz de la Sierra la recolección de residuos sólidos alcanzó a 558.229 toneladas, en la ciudad de El Alto a 216.836 toneladas y en La Paz a 212.554 toneladas. A la fecha esta cifra va en aumento, ya se observó diversos problemas de salud debido a la acumulación de residuos como por ejemplo botaderos llenos, claro ejemplo el de las ciudades de La Paz y El Alto.

La mayor cantidad de residuos sólidos proviene de los domicilios con 1.185.712 toneladas, seguido de los mercados con 139.799 toneladas, industria y mataderos con 61.312 toneladas, áreas públicas con 28.854 toneladas y hospitales con 11.311 toneladas (Instituto Nacional de Estadística, 2017).

## **2.16. SITUACIÓN ENERGÉTICA EN BOLIVIA**

Bolivia es un país gasífero y produce combustibles líquidos en poca cantidad, es necesario importar dichos productos para abastecer el mercado interno, cabe mencionar que según el INE, Bolivia también importa aditivos para mejorar el octanaje de las gasolinas debido a que existe poca cantidad de hidrocarburos pesados.

La gasolina mezclada con etanol ya se utiliza en 65 países, entre los que se incluyen Brasil, Colombia, Canadá, Inglaterra, Estados Unidos y la Unión Europea. Incluso China, Costa Rica y Bolivia ya se encuentran evaluando programas de mezcla de combustibles y producción. (Motorpasion México, 2019)

## **2.17. SITUACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES EN BRASIL**

Brasil es uno de los países más importantes de Latinoamérica esto debido a su tamaño y progreso económico el cual es potenciado por sus enormes recursos naturales, tales como la madera, frutas tropicales entre otros, además encabeza la lista de países de la región en buscar alternativas a los combustibles fósiles. A partir del 2005, Brasil fabrica biocombustibles y fomenta ésta industria para proveer al mercado interno, sobre todo para maquinaria agrícola y vehículos pesados, es considerado el segundo productor a nivel mundial de bioetanol. (Renovables Verdes, 2020)

El uso del bioetanol como combustible es debido a su alto grado de octanaje (cantidad de octanos), es decir, la capacidad de un combustible para que no detone prematuramente, lo que mejora su rendimiento en la combustión. Un octano es un hidrocarburo de 8 carbonos y por lo general están presentes en cualquier carburante. El uso del bioetanol como combustible a gran escala surge en la década de los setenta en Brasil, por la necesidad de reemplazar combustibles fósiles, debido a una “crisis del petróleo” que presentaron en ese momento. Hoy en día, Brasil es el principal país en donde la mayoría de los vehículos usan bioetanol como combustible. (Academia de Ciencias de Morelos, A.C, 2022)

## 2.18. FLUCTUACIÓN DE PRECIOS DEL BIOETANOL, GASOLINA EN LATINOAMÉRICA Y BOLIVIA

Según la ANP de Brasil (Agencia Nacional del Petróleo, Gas Natural y Biocombustibles), el litro de la gasolina se comercializa por el valor promedio de \$ 3,697 en Campo Grande, con un mínimo de R \$ 3,559 y R \$ 3,799 y el etanol tiene el precio promedio de R \$ 3,386, con el menor valor de R \$ 3,299 y el mayor de R \$ 3,569. (Portal Caña, 2020)

Realizando una actualización a los precios de los combustibles en Bolivia y América Latina se tiene el siguiente panorama:

Considerando el panorama para el diésel, se tiene la siguiente situación:

**TABLA 2-2: Precios del diésel en países de América Latina al 1 de junio del 2020, en bolivianos por cada litro de diésel**

<i>País</i>	<i>Precio (Bs/lit)</i>
<b>Argentina</b>	5,28
<b>Bolivia</b>	3,72
<b>Brasil</b>	3,86
<b>Chile</b>	5,02
<b>Colombia</b>	3,98
<b>Costa Rica</b>	4,34

<i>País</i>	<i>Precio (Bs/lit)</i>
<b>Cuba</b>	6,88
<b>Ecuador</b>	1,89
<b>El Salvador</b>	3,2
<b>Guatemala</b>	3,73
<b>Haití</b>	3,04
<b>Honduras</b>	4,03
<b>México</b>	5,91
<b>Nicaragua</b>	4,56
<b>Panamá</b>	3,01
<b>Paraguay</b>	4,71
<b>Perú</b>	6,25
<b>República Dominicana</b>	4,11
<b>Uruguay</b>	6,42
<b>Paraguay</b>	4,71

*Fuente: Datos extraídos en base a lo reportado en (GlobalPetrolPrices, 2020).*

Por otro lado, los precios de la gasolina en países de América Latina al 1 de junio del 2020, en bolivianos por cada litro de gasolina (GlobalPetrolPrices, 2020):

**TABLA 2-3: Precios de la gasolina en países de América Latina al 1 de junio del 2020, en bolivianos por cada litro de gasolina**

<i>País</i>	<i>Precio (Bs/lit)</i>
<b>Argentina</b>	5,72
<b>Bolivia</b>	3,74
<b>Brasil</b>	4,92
<b>Chile</b>	7,3
<b>Colombia</b>	3,89
<b>Costa Rica</b>	7,03
<b>Cuba</b>	8,26
<b>Ecuador</b>	3,36

<i>País</i>	<i>Precio (Bs/lit)</i>
<b>El Salvador</b>	4,05
<b>Guatemala</b>	4,74
<b>Haití</b>	3,81
<b>Honduras</b>	5,35
<b>México</b>	5,51
<b>Nicaragua</b>	5,7
<b>Panamá</b>	3,9
<b>Paraguay</b>	6,27
<b>Perú</b>	6,78
<b>República Dominicana</b>	6,05
<b>Uruguay</b>	8,73
<b>Venezuela</b>	0,14

*Fuente: Datos extraídos en base a lo reportado en (GlobalPetrolPrices, 2020).*

En la siguiente tabla se muestra los precios internacionales y precios finales para el consumidor boliviano (ANH, 2020).

**TABLA 2-4: Precios de los productos internos a nivel nacional de acuerdo a la Agencia Nacional de Hidrocarburos en Bolivia**

<b>Precios de los productos internos a nivel nacional</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Producto</b>	<b>Precio internacional (bs/l)</b>	<b>Diferencia de precios</b>	<b>Precio final consumidor</b>
<b>3/1/2020</b>	Gasolina especial internacional	8,68	4,94	3,74
	Diésel oil internacional	8,88	5,16	3,72
	Gasolina especial +	8,68	4,94	3,74

<b>Precios de los productos internos a nivel nacional</b>				
<b>Fecha</b>	<b>Producto</b>	<b>Precio internacional (bs/l)</b>	<b>Diferencia de precios</b>	<b>Precio final consumidor</b>
	internacional			
<b>4/2/2020</b>	Gasolina especial internacional	8,68	4,94	3,74
	Diésel oíl internacional	8,88	5,16	3,72
	Gasolina especial + internacional	8,68	4,94	3,74
<b>3/3/2020</b>	Gasolina especial internacional	8,68	4,94	3,74
	Diésel oíl internacional	8,88	5,16	3,72
	Gasolina especial + internacional	8,68	4,94	3,74
<b>2/4/2020</b>	Gasolina especial internacional	8,68	4,94	3,74
	Diésel oíl internacional	8,88	5,16	3,72
	Gasolina especial + internacional	8,68	4,94	3,74
<b>5/5/2020</b>	Gasolina especial internacional	8,68	4,94	3,74
	Diésel oíl internacional	8,88	5,16	3,72
	Gasolina especial + internacional	8,68	4,94	3,74

Fuente: Datos extraídos del portal de la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH, 2020)

Se puede observar la diferencia entre los precios al consumidor en territorio nacional y los precios internacionales.

## 2.19. SITUACIÓN DE BIOCOMBUSTIBLES EN ARGENTINA

La matriz energética argentina está basada en derivados del petróleo un 33% y del gas natural 54 %, totalizando un 87% de energía no renovable, lo cual indica que a pesar de la prosperidad del país los recursos están en constante disminución, dentro del sector del transporte, el consumo comprende un 66% de gasoil, 17% de naftas y 17% de GNC. (Falasca, 2017)

La industria de biodiesel en Argentina cuenta con 37 fábricas, con una capacidad de producción anual conjunta cercana a 4,4 Mt/año, es un complejo industrial muy importante para el país, la gestión 2016 produjo cerca de 2,6 Mt de biodiesel, logró exportar 1,6 Mt y así mismo generó divisas por U\$S 1.175 millones. La industria de biodiesel en la República Argentina contó en la gestión 2017 con 37 fábricas, la cuales registran una capacidad de producción anual conjunta de aproximadamente 4.400.000 toneladas/año. (Noticias sobre energías renovables, 2017)

Por otro lado en el caso del bioetanol, Argentina impuso desde 2010 un corte obligatorio de etanol en la nafta.

La producción de bioetanol a base de maíz se mantiene mayormente constante en los distintos meses del año, ya que es posible almacenar el grano en buenas condiciones durante varios meses y así regular la actividad industrial, el bioetanol de maíz reduce las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) en un 65% en comparación con combustibles fósiles, esta eficiencia se obtiene a partir de la aplicación de la siembra directa y al buen secado.

La producción de bioetanol a base de caña de azúcar, tiene un período de alta producción entre mayo y noviembre, coincidente con la entrada de la cosecha de la caña de azúcar en las principales provincias productoras que son Tucumán y Salta. (Bolsa de Comercio de Rosario, 2019)

## 2.20. TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN DE BIOETANOL

**PETROQUÍMICA**

El bioetanol es un combustible de origen vegetal que se produce a partir de la fermentación de materia orgánica que contenga alto porcentaje en azúcar, así como de la transformación en azúcar del almidón presente en los cereales tales como la soja y el sorgo, su uso es primordialmente en motores de explosión como aditivo o sustituto de la gasolina (Gracia, 2020).

El bioetanol se puede considerar como el producto de la transformación de la energía solar a través de una biomasa, llamada en algunos casos cultivo bioenergética, que es utilizada como fuente de las materias primas para las reacciones bioquímicas que generan dicho biocombustible. De esta manera los pasos básicos de la conversión de biomasa a bioetanol son (Carlos Ariel Cardona Alzate, 2004):

**a) Producción de biomasa,**

Resulta de la conversión de dióxido de carbono de la atmósfera en materia orgánica por medio de la fotosíntesis (transformación de la energía solar).

**b) Pretratamiento de la biomasa,**

Consiste en su conversión hacia sustancias adecuadas para la fermentación (azúcares fermentables). Este paso constituye la mayor diferencia entre los procesos disponibles para la producción de bioetanol, ya que varía de acuerdo con la naturaleza del material usado.

**c) Fermentación,**

Consiste en una secuencia de reacciones donde se libera energía y se obtiene etanol y dióxido de carbono a partir de azúcares por medio de la acción de un biocatalizador (microorganismos como levaduras y bacterias).

**d) Separación,**

Procesamiento del producto de la fermentación para la obtención de etanol grado carburante y otros subproductos; generalmente este paso utiliza como operación de separación la destilación. A estas etapas básicas para la producción de etanol carburante debe adicionarse una última de tratamiento de residuos, tema que sólo hasta hoy ha ganado una verdadera importancia con las tendencias mundiales de producción limpia.

## 2.21. TECNOLOGÍAS POR GENERACIÓN DEL BIOETANOL

Existe la clasificación por generación, mostradas a continuación de primera a cuarta generación.

### 2.21.1. BIOETANOL DE PRIMERA GENERACIÓN 1G

La obtención del alcohol es mediante el proceso de fermentación de los azúcares presentes en diferentes materias primas, que puedan ser metabolizados por microorganismos del género *Saccharomyces*, *Zymomonas*, *Kluyveromyces*, y *Zygosaccharomyces*

**TABLA 2-5:** Microorganismos utilizados en la producción de etanol

Microorganismo empleado	Sustrato
<i>Saccharomyces cerevisiae</i> and <i>Schizosaccharomyces pombe</i>	Melazas, jugo de caña, remolacha azucarera, naranja y arroz
<i>Zymomonas mobilis mutant</i>	Jugo de caña
<i>Saccharomyces Diasticus</i>	Jugo de anacardo
<i>Pichia stipitis</i> NRRL-Y-7124 <i>Saccharomyces cerevisiae</i> RL-11 <i>Kluyveromyces fragilis</i> Kf1	Residuos de la industria del café
<i>Aspergillus awamori</i> <i>Rhizopus japonicus</i> <i>Zymomonas mobilis</i>	Almidón de papa
<i>Zygosaccharomyces rouxii</i> <i>Kluyveromyces marxianus</i> <i>Ogataea (Hansenula) polymorpha</i> <i>Dekkera bruxellensis</i> <i>Pichia kudriavzevii</i>	N/A
<i>Zygosaccharomyces bailii</i>	

**Fuente:** Extraído de (L. Alexis Alonso Gómez, 2018)

Es proveniente de materias que se derivan de partes alimenticias de las plantas con alto contenido en almidón, azúcares y aceites, entre algunas de estas materias primas son la

caña de azúcar, los granos de maíz, el sorgo, entre otros. En cuanto a la tecnología se refiere, para la producción de biocombustible de primera generación se recurre a la comúnmente llamada fermentación para la obtención del mismo (Ortiz, Moreno, Gómez, González, & Torres de Loera, 2017).

Comúnmente la de producción de bioetanol de primera generación en el cual se aplican productos de tales como caña de azúcar, maíz entre otros se presentan en la siguiente Ilustración:

**ILUSTRACIÓN 2-1: Proceso industrial de producción de bioetanol**



*Fuente: Extraído de (Ortiz, Moreno, Gómez, González, & Torres de Loera, 2017)*

El proceso se inicia por la entrega de la biomasa a la biorrefinería, posteriormente, se procede a un proceso de pretratamiento de esta biomasa con la finalidad de acondicionarla para que las enzimas actúen de manera óptima durante reacción de hidrólisis de la materia prima para pasar a la fermentación de azúcares a alcohol (etanol) por medio de microorganismos y terminar con la destilación del etanol para su distribución final.

## 2.21.2. BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN O AVANZADO 2G

El bioetanol de segunda generación utiliza como materia prima los residuos agrícolas o forestales compuestos por celulosa o materia lignocelulósica, entre ellos se tiene el aserrín, el bagazo de la caña de azúcar, los tallos y las hojas del maíz, las hojas y ramas secas de los árboles, etc.

Los procesos de producción se basan en plataformas bioquímicas para obtener bioetanol por procesos fermentativos o en plataformas termoquímicas con los procesos denominados: GTL por sus siglas en inglés Gas-To-Liquids y proceso BTL, cuyas siglas en inglés son Biomass-To-Liquids (Ortiz, Moreno, Gómez, González, & Torres de Loera, 2017).

La fermentación común transforma la glucosa en etanol, pero en el caso de los materiales lignocelulósicos, la celulosa debe ser primero convertida a azúcares simples por hidrólisis y fermentada para producir etanol. La materia prima requiere una preparación que consiste en la colección-selección, reducción de tamaño y lavado. El procesamiento para la obtención de bioetanol incluye las siguientes etapas (Ortiz, Moreno, Gómez, González, & Torres de Loera, 2017):

- Pre-tratamiento (fraccionamiento de las hemicelulosas y parte de la lignina)
- Purificación del hidrolizado (si es necesario)
- Hidrólisis principal (fraccionamiento de la celulosa)
- Purificación del hidrolizado (si es necesario)
- Fermentación
- Recuperación del etanol (destilación)

En la siguiente Ilustración se presentan las principales etapas del proceso de producción de bioetanol:

### ILUSTRACIÓN 2-2: Proceso de producción de bioetanol lignocelulósico



*Fuente: Extraído de (Ortiz, Moreno, Gómez, González, & Torres de Loera, 2017)*

Los factores que más impactan para determinar las condiciones y configuración del proceso de producción de bioetanol a partir de material lignocelulósico son:

Las condiciones de operación varían según el sustrato, la disponibilidad de azúcares fermentables y la disponibilidad de la materia prima, en la siguiente tabla se hace mención de algunos ejemplos de material lignocelulósico e indica la composición de celulosa, hemicelulosa y lignina de cada uno (Ortiz, Moreno, Gómez, González, & Torres de Loera, 2017).

### ILUSTRACIÓN 2-3: Composición de distintos residuos lignocelulósicos como insumos para el bioetanol

Material lignocelulósico	Celulosa %	Hemicelulosa %	Lignina %
Residuos de maderas duras	40-55	24-40	18-25
Residuos de maderas blandas	45-50	25-35	25-35
Mazorca de maíz	45	35	15
Paja de arroz	32	24	18
Bagazo	33	30	19
Paja de trigo	30	50	15
Hojas	15-20	80-85	0
Pasto	45	31	12

Fuente: Extraído de (Ortiz, Moreno, Gómez, González, & Torres de Loera, 2017)

La principal función del pretratamiento es incrementar el área superficial y tamaño de poro, y por lo tanto aumentar la superficie de reacción donde actuarán las enzimas hidrolíticas de polisacáridos, el pretratamiento depende del tiempo, costos y condiciones de operación, en la siguiente figura se destacan algunos de ellos:

### ILUSTRACIÓN 2-4: Tipos de pretratamiento de la materia prima

Físicos	Físico - Químicos	Químicos	Biológicos
Mecánicos (molinos)	Hidrotérmicos (Agua caliente, vapor)	Ácido (diluido, concentrado)	Fungi (brawn, White, soft-rot fungie)
Calor Pirólisis	Con químicos (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> - AFEX*)	Alcalino (NaOH, cal)	
	Degradación parcial de hemicelulosa	Agentes oxidantes (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , WO, Ozonólisis)	Degradación de hemicelulosa y lignina
Disminuye: DP y Cristalinidad	Transformación de la lignina	Disminuye: DP y Cristalinidad	
		Degradación de hemicelulosa	
		Remoción de lignina	

\*AFEX: Ammonia Fiber Explosion

Fuente: Extraído de (Ortiz, Moreno, Gómez, González, & Torres de Loera, 2017)

Las clases de pretratamiento se diferencian en la demanda energética requerida, en la siguiente tabla se presentan algunos datos:

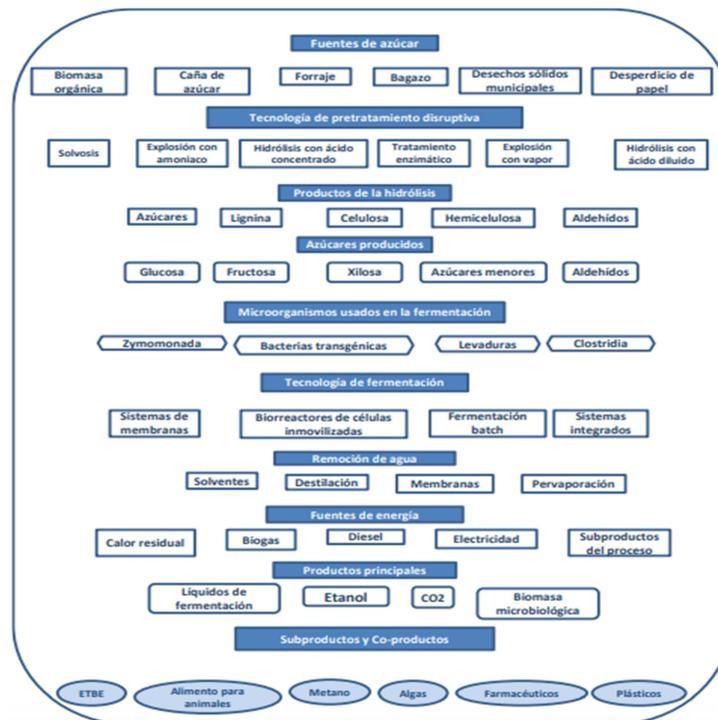
**TABLA 2-6: Comparación energética de distintos tipos de pretratamiento**

Tipo de pretratamiento	Rendimiento <sup>(1)</sup>	Costo energético <sup>(2)</sup>	Productividad <sup>(3)</sup>
Explosión de vapor	29	2.18	5.96
Hidrólisis ácido diluido	39	3.66	1.75
Hidrólisis alcalina	31	0.84	0.1
Biológico	23	0.003	0.2
Hot compress water	37	1.78	0.7

Fuente: Extraído de (Ortiz, Moreno, Gómez, González, & Torres de Loera, 2017)

En la siguiente Ilustración, se muestra las diferentes opciones para obtener etanol a partir de biomasa considerando los elementos requeridos en su proceso de producción:

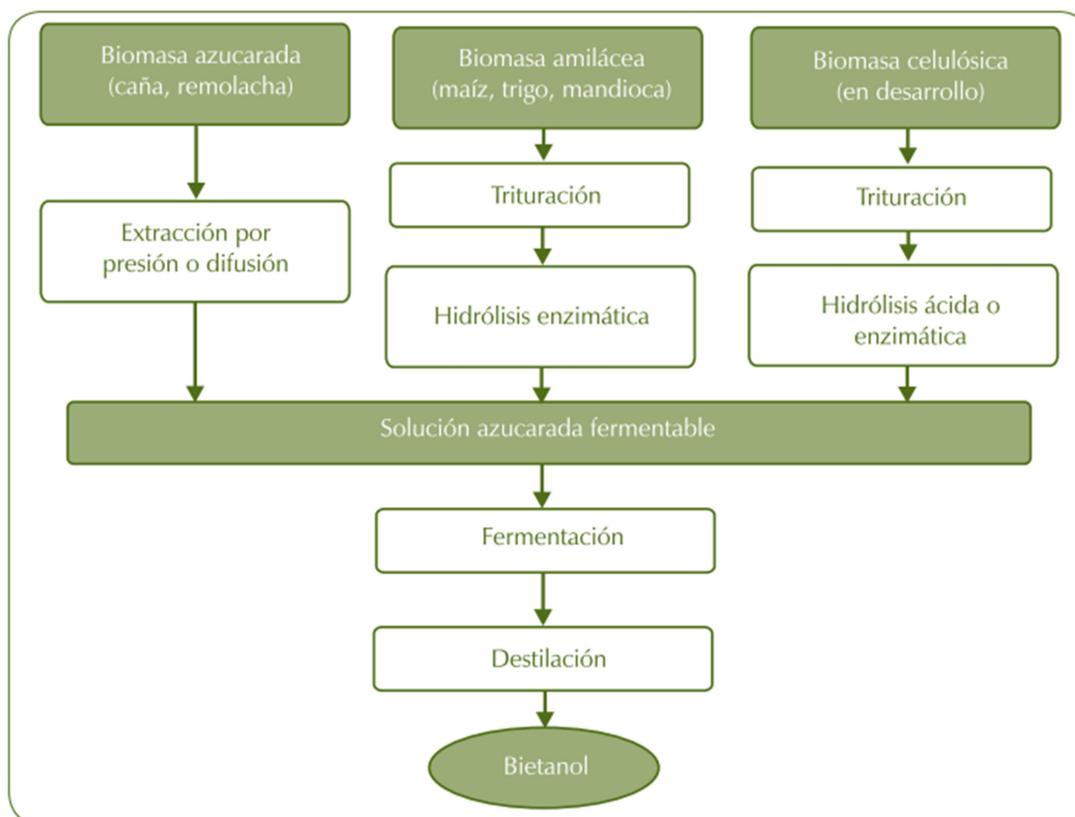
**ILUSTRACIÓN 2-5: Opciones para producir etanol de biomasa**



Fuente: (Ortiz, Moreno, Gómez, González, & Torres de Loera, 2017)

Si bien la producción de bioetanol de segunda generación resulta resaltante por el uso de biomasa de distintos índoles, cabe recalcar que se debe clasificar estos por su composición, es por eso que en la siguiente figura se sintetiza las rutas tecnológicas para la producción de bioetanol considerando las diferentes materias primas (BNDES & CGEE, 2008).

**ILUSTRACIÓN 2-7: Rutas tecnológicas para la producción de bioetanol**



*Fuente: Extraído de (BNDES & CGEE, 2008)*

### 2.21.3. BIOCOMBUSTIBLES DE TERCERA GENERACIÓN 3G

Conlleva a aquellos que se generan a partir de biomásas adaptadas o modificadas para lograr altos rendimientos en procesos mejorados, un claro ejemplo es el uso de aceite de

algas para la obtención de biodiesel (Ortiz, Moreno, Gómez, González, & Torres de Loera, 2017).

#### **2.21.4. BIOETANOL DE CUARTA GENERACIÓN 4G**

Se obtiene partir de bacterias genéticamente modificadas, en el cual se emplea dióxido de carbono u otra fuente de carbono, en este tipo de biocombustibles la bacteria es la que efectúa la totalidad del proceso de producción (Ortiz, Moreno, Gómez, González, & Torres de Loera, 2017).

### **2.22. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CALIDAD DE BIOETANOL**

Debido a la escasa producción de bioetanol en el mundo o producción de solamente algunos países, las especificaciones técnicas de calidad del producto en cuestión, no están estandarizados es decir que algunas especificaciones difieren de otras de acuerdo al país de procedencia, teniendo así distintas normativas de control de calidad. A continuación, se muestra una tabla de los principales países productores de bioetanol en Europa, América del Norte y América Latina.

### **2.23. MÉTODOS DE INCREMENTO DE OCTANAJE DE LA GASOLINA**

Aunque las gasolinas se obtienen a partir del refinado del petróleo, los hidrocarburos presentes en el mismo no cuentan con un índice de octano suficiente para las gasolinas comerciales. Por ello, se elabora una compleja mezcla que, además de hidrocarburo como componente principal, incluye productos oxigenados en proporciones variables. Para incrementar el octanaje, se someten los hidrocarburos a diversas reacciones químicas, siendo estas las principales:

- **Cracking catalítico:** con este proceso, componentes pesados como el gasóleo de vacío se convierten en hidrocarburos ligeros que disponen de aproximadamente un 50% de Nafta de FCC (Craqueo Catalítico Fluido), que es apropiada para formularse en la gasolina final.

- **Isomerización:** en este proceso por el cual los mismos átomos se disponen de forma distinta, las i-parafinas se obtienen a partir de n-parafinas ligeras.
- **Reformado catalítico:** el proceso, que también produce hidrógeno, posibilita la transformación de naftas pesadas en aromáticos.
- **Alquilación:** transfiriendo un grupo alquilo de una partícula en movimiento a otra en reposo, a se sintetiza el i-octano a partir del i-butano y el buteno.
- **Eterificación:** Esta reacción, el i-buteno interactúa con metanol o bioetanol, generando a su vez etil-tert butil éter (E.T.B.E).
- **Bioetanol:** obtenido a partir de la fermentación de azúcares que puede utilizarse como combustible solo o mezclado con gasolina. (Plaza, Motor.es, 2022)

## 2.24. FUNCIONAMIENTO DE MOTORES Y ADECUACIÓN AL BIOETANOL COMO COMBUSTIBLE

En el amplio contexto de la bioenergía, la producción de biocombustibles líquidos sirve para atender particularmente las necesidades de transporte automotor. Para estos fines, además de los biocombustibles, aún no existen, en la actualidad, otras alternativas renovables con madurez tecnológica y viabilidad económica suficientes.

Los biocombustibles líquidos se pueden utilizar de manera bastante eficiente en motores de combustión interna que equipan los más diversos vehículos automotores y que se clasifican básicamente en dos tipos, dependiendo de la manera como inicia la combustión. Motores del ciclo Otto (fuel Flex), con ignición a chispa, para los cuales el biocombustible más recomendado es el bioetanol; y motores del ciclo Diesel, en los cuales la ignición se logra por compresión y que pueden utilizar con buen desempeño el biodiesel. En ambas situaciones, los biocombustibles pueden ser usados puros o mezclados con combustibles convencionales derivados de petróleo.

El etanol es un combustible, es decir, libera significativas cantidades de calor al quemarse. Sin embargo, el etanol presenta algunas diferencias importantes con relación a los combustibles convencionales derivados de petróleo. La principal es el elevado tenor de oxígeno, que constituye cerca del 35% en masa del etanol. Las características del etanol posibilitan la combustión más limpia y mejor desempeño de los motores, lo que contribuye a reducir las emisiones contaminantes, aun al mezclarlo con la gasolina. En

estos casos, actúa como un verdadero aditivo para el combustible normal, mejorando sus propiedades. El etanol como combustible en motores de combustión interna, ya sea en mezclas con gasolina (etanol anhidro, es decir, sin agua) o puro (etanol hidratado).

El etanol hidratado puro debe ser usado en motores fabricados o adaptados específicamente para este fin, en particular adoptando índices de compresión más elevados, buscando utilizar adecuadamente el octanaje más alto del etanol frente a la gasolina y obtener ganancias de eficiencia del 10%. En otras palabras, el mayor octanaje del etanol permite que los motores obtengan más energía útil del calor del combustible comparativamente a la gasolina. Otros cambios deben ser efectuados en el sistema de alimentación de combustible y en la ignición, para compensar las diferencias en la relación aire-combustible y otras propiedades. Además, debe haber algunos cambios de materiales en contacto con el combustible, como tratamiento anticorrosivo de las superficies metálicas de los tanques, filtros y bombas de combustible y sustitución de tuberías o adopción de materiales más compatibles con el etanol. (BNDES y CGEE Brasil, 2008)

## 2.25. CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

En un motor de combustión interna se introduce aire y combustible. En los motores de encendido por chispa, la mezcla de aire y combustible se preparaba antiguamente en el carburador y es luego conducida al cilindro, ahora es por medio de inyectores, lo que permite un ahorro de combustible y un mejor aprovechamiento del mismo; en los motores de encendido por compresión se realiza directamente en el cilindro, donde el combustible se inyecta después de haber introducido y comprimido el aire.

La mezcla comprimida en la cámara de combustión se transforma, por efecto de la combustión, en vapor de agua ( $H_2O$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y nitrógeno (N). El nitrógeno, gas inerte contenido en el aire, no interviene en la combustión. El vapor de agua producido en la combustión se mantiene y se comporta como un gas permanente.

Entre los otros productos de la combustión se encuentran partículas de otros gases tales como: monóxido de carbono ( $CO$ ), hidrógeno ( $H_2$ ), metano ( $CH_4$ ) y oxígeno ( $O_2$ ), cuando

la combustión es incompleta. La cantidad de oxígeno que participa en el proceso está en razón directa del exceso de aire introducido con respecto al necesario para la combustión.

**TABLA 2-7: Clasificación de los motores de combustión interna**

<b>Aplicación</b>	En automóviles, camiones, locomotoras, avión ligero, marino, sistema de potencia portátil y generación de energía.
<b>Diseño básico del motor</b>	Motores reciprocantes (subdivididos por el arreglo de los cilindros: En línea, en V, otros), motores rotatorios (Wankel y otras geometrías)
<b>Ciclos de funcionamiento</b>	Ciclo de cuatro tiempos: Aspirado naturalmente (admitiendo el aire atmosférico), sobrealimentado (admite previamente comprimida la mezcla fresca) y turbo cargado (admitiendo la mezcla fresca comprimida en un compresor conducido por una turbina de extractor), ciclo de dos tiempos: Sobrealimentado y turbo cargado
<b>Válvula o diseño del puerto y localización</b>	Válvulas en la cabeza, válvulas debajo de la cabeza, válvulas rotatorias, etc.
<b>Combustible</b>	Gasolina, Diésel, gas natural, gas líquido, alcoholes (metanol, etanol), hidrógeno, combustible dual
<b>Método de preparación de la mezcla</b>	Carburación, inyección del combustible en los puertos, inyección del combustible en el cilindro del motor
<b>Método de encendido</b>	Encendido por chispa, encendido por compresión
<b>Diseño de la cámara de combustión</b>	Cámara abierta, Cámara dividida
<b>Método de control de carga</b>	La estrangulación de la mezcla del flujo del combustible y de aire junto permanece sin cambio, control del flujo del combustible solamente, una combinación de éstos
<b>Método de enfriamiento</b>	Enfriados por agua, enfriados por aire, sin enfriar (por convección y radiación naturales)

*Fuente: Elaboración propia en base a clasificación de motores por Método de preparación de la mezcla, 2022.*

A lo largo del tiempo los motores se han modificado con el objetivo de reducir el consumo de combustible, maximizar la eficiencia de combustión y reducir los gases de efectos de

PETROQUÍMICA

gas invernadero. Y es por esta razón que desarrollaremos una tabla comparativa de motores clasificados por método de preparación de la mezcla (mezcla de combustible/aire).

TABLA 2-8: Clasificación de motores por Método de preparación de la mezcla (mezcla de combustible/ aire)

CARACTERÍSTICA	CARBURACIÓN	INYECCIÓN	INYECCIÓN DIRECTA (Fuel Flex)
<b>Utilidad</b>	Obsoleta en automóviles, sin embargo, aún se fabrican motocicletas con este tipo de motor	Actual	Actual
<b>Funcionamiento básico</b>	Funciona de manera mecánica, permitiendo el ajuste manual de mezcla (14.7 partes de aire, por 1 de combustible)	Funciona sobre la base de una mezcla exacta de aire y combustible (14.7 partes de aire, por 1 de combustible) Mediante sensores.	Funciona sobre la base de una mezcla exacta de aire y combustible (14.7 partes de aire, por 1 de combustible) Mediante sensores controlado por un computador.
<b>Dispositivos de control</b>	Dispositivo mecánico	Dispositivos electromecánicos y electrónicos	Dispositivos electromecánicos y electrónicos
<b>Eficiencia de combustión</b>	Menor eficiencia	Mayor eficiencia	Mayor eficiencia
<b>Emisión de gases de efecto invernadero</b>	Mayor emisión de gases de efecto invernadero	Menor emisión de gases de efecto invernadero	Reducida cantidad de gases de efecto invernadero
<b>Medidor de cantidades de combustible</b>	Flotador	Sensores	Sensores de Presión, Temperatura y Caudal
<b>Relación combustible/aire</b>	Poco optima	optima	optima
<b>Uso de bioetanol</b>	Admisible hasta E5	Admisible entre E10-E15	Admisible entre E20-E100

*Fuente: Elaboración propia en base a clasificación de motores por Método de preparación de la mezcla.*

En los motores de gasolina, la mezcla se prepara utilizando un carburador o un equipo de inyección. Hasta ahora, el carburador era el medio más usual de preparación de mezcla, medio mecánico. Desde hace algunos años, sin embargo, aumentó la tendencia a preparar la mezcla por medio de la inyección de combustible en el colector de admisión. Esta tendencia se explica por las ventajas que supone la inyección de combustible en relación con las exigencias de potencia, consumo, comportamiento de marcha, así como de limitación de elementos contaminantes en los gases de escape. Las razones de estas ventajas residen en el hecho de que la inyección permite (una dosificación muy precisa del combustible en función de los estados de marcha y de carga del motor; teniendo en cuenta así mismo el medio ambiente, controlando la dosificación de tal forma que el contenido de elementos nocivos en los gases de escape sea mínimo. (Mecanicaautomotrizedgm, 2017)

Visiblemente se puede identificar si el motorizado funciona con carburador o a inyección con la cantidad de gases despachados por el escape.

Un coche de gasolina funciona mejor con una mezcla de hasta un 20% de etanol sin tener que modificar el diseño del motor, según un estudio de investigadores de la Universidad de Salamanca. La eficiencia de la combustión en el motor depende de la relación de combustible/aire en el cilindro de combustión comparando los dispositivos de control resulta más eficiente los motores de los vehículos Fuel Flex. La utilización de bioetanol en motores con carburación e inyección es admisible entre un 5-15% en la mezcla con la gasolina, sin modificar dichos motores ya que no representa daños mecánicos en el motor. Los motores de vehículos fuel Flex son de similar funcionamiento que los de inyección sin embargo sus modificaciones se deben a la alta corrosividad del bioetanol en el plástico y menor volatilidad a comparación de la gasolina. Tales modificaciones son el cambio de conductos, tanques de almacenamiento y válvulas anticorrosivas en presencia de alcohol al 100% y la inclusión de un sistema de precalentamiento del bioetanol para facilitar la evaporación y combustión en el tanque de combustión.

## **2.26. PRODUCCIÓN COMPARATIVA DE BIOETANOL DE PRIMERA Y SEGUNDA GENERACIÓN EN LATINOAMÉRICA**

Se realizó la medición de las variaciones de eficiencia de los países productores de biocombustibles en Latinoamérica. Se utilizó la metodología no paramétrica de análisis

envolvente de datos, que permitió calcular la frontera de eficiencia de Brasil, Colombia, Argentina, Ecuador, México, Paraguay, Perú, Bolivia y Uruguay con información analizada de la base de datos año 2010. Los resultados mostraron el liderazgo de Perú y Brasil, con eficiencias igual a 1 en la producción de biodiesel y bioetanol. De los 9 países analizados, 7 presentaron bajos niveles de eficiencia en la producción de biocombustibles y solo uno (Paraguay) mostró tener eficiencia media en la fabricación de bioetanol. (Gómez, 2016)

Los tipos de biocombustibles líquidos más utilizados en Latinoamérica corresponden a los ya mencionados biodiésel y bioetanol, por sus bondades en los costos de fabricación y utilidad para las regiones emergentes marginales. Con relación al bioetanol, este puede ser de primera o de segunda generación; para este último, su producción se realiza con la incorporación de nuevos procesos de investigación y desarrollo, con la obtención de compuestos de plantas como el lignum, la celulosa o hemicelulosa, entre otros procesos tecnológicos utilizados, como la hidrólisis enzimática. (Gómez, 2016)

Por su parte, la producción de biodiésel de segunda generación también incorpora novedosas tecnologías para su obtención y se deriva de biomásas distintas a las oleaginosas, como la madera, la paja y residuos orgánicos, mediante procesos de gasificación Fischer-Tropsch, que permiten sintetizar combustibles líquidos de alta calidad. La siguiente tabla presenta los diferentes tipos y tecnologías utilizadas en los procesos de elaboración de biocombustibles de primera y segunda generación.

**TABLA 2-9: Clasificación del Insumo, proceso, utilidad y tecnología aplicada en Latinoamérica**

Tipo	Insumo	Proceso conversión	Utilidad	Tecnología aplicada
<i><b>Biocombustibles líquidos de primera generación</b></i>				
<b>Bioetanol</b>	Caña de azúcar y almidones	Fermentación	Transporte	Comercial
<b>Biodiésel</b>	Oleaginosas, microalgas grasas vegetales y animales	Esterificación	Transporte	Comercial e Investigación y Desarrollo

<b>Biocombustibles líquidos de segunda generación</b>				
<b>Bioetanol</b>	Lignocelulosa, pasto, residuos agrícolas y forestales	Hidrólisis, gasificación (Fischer-Tropsch)	Transporte	Comercial
<b>Biodiésel</b>	Biomasa	Gasificación (Fischer-Tropsch)	Transporte y generación de electricidad	Investigación y Desarrollo

Fuente: Extraído de (Gómez, 2016)

Se estima que la demanda de biocombustibles para el transporte se incrementará para el año 2030 en un 55% respecto al consumo en 2004. Y en relación con las previsiones 2012-2021 de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), se espera que la producción mundial de bioetanol y biodiesel se duplique; este incremento de la producción se concentrará especialmente en países (regiones) como Estados Unidos, Brasil y la Unión Europea (UE).

En efecto, estos países (regiones) —Estados Unidos (33,2%), Brasil (21,8%), Unión Europea (20,6%), Argentina (4,1%), Colombia (0,8%) representan la producción mundial de biocombustibles líquidos, aprovechando estas fuentes de energía de origen biológico en sus regiones para alinear el crecimiento y desarrollo rural, con la oportunidad de aportar una nueva fuente ecológica de bioenergía.

En América Latina la producción de biocombustibles es liderada por Brasil, Argentina y Colombia, según datos del último estudio sobre biocombustibles publicado por la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), y se ha convertido en la mejor opción de fuente energética para competir con el petróleo, dados los avances tecnológicos —combustibles flexibles— con que cuentan estos países, para el abastecimiento y el consumo, particularmente en sectores como el transporte. El consumo de biocombustibles utilizados en Latinoamérica para el transporte.

En América Latina el mayor interés en los biocombustibles se tiene en la fabricación de bioetanol, con una producción cercana a los 26,3 billones de litros, con una participación de Brasil (34,2%), seguido de Colombia (0,4%) y nula acción de Argentina. En este sentido se evidencia el buen desempeño de Latinoamérica cuando se compara con

Estados Unidos, que encabeza la producción con el 54% al 2009. Sin embargo, al considerarse la eficiencia en la producción de biocombustibles no se analizan los insumos o entradas del proceso productivo que maximicen la producción de dichos combustibles orgánicos, intentando mejorar la economía interna de estas regiones y la posición de América Latina en las próximas décadas.

El análisis de la eficiencia en la producción de biocombustibles en América Latina conduce a revisar los medios de producción y las tecnologías aplicadas, es decir, cómo y cuáles son los métodos utilizados para la optimización de los procesos que implican el uso racional de los insumos agrícolas, forestales, residuos orgánicos y tecnologías utilizadas en la producción de biocombustibles de primera y segunda generación. En concordancia con lo anterior, evaluar la productividad y el desempeño de los países productores de biocombustibles en América latina es fundamental para el fortalecimiento de las políticas de crecimiento energético y económico de las regiones de análisis, particularmente en lo que concierne a la toma de decisiones respecto a la innovación y desarrollo de las tecnologías y materias primas, para la mejora de la eficiencia en la producción de bioetanol y biodiésel.

## **2.27. SITUACIÓN ENERGÉTICA CON RESPECTO A COMBUSTIBLES FÓSILES Y BIOCMBUSTIBLES EN ARGENTINA**

El gobierno argentino postergó la primera semana del mes de marzo por tercera vez un aumento de impuestos internos a los combustibles. Actualmente mantiene congelados los precios locales del crudo y los biocombustibles y existe una crisis laboral en Vaca Muerta y las provincias productoras de bioetanol y biodiesel. En regiones como ésta se vio la utilización del bioetanol en la conversión a producción de alcohol para el tema coyuntural del 2020.

Actualmente, a la emisión del documento, se considera que las producciones de biodiesel y de bioetanol son parte de algo que resulta imprescindible, en tiempos para el cuidado de las personas el denominado “alcohol en gel”, el sector de biocombustibles provee la materia prima para el mismo ya que la industria del bioetanol provee el alcohol y la del biodiesel la glicerina.

Adicionalmente se puede observar al comportamiento del precio del bioetanol que va en crecimiento producto de las condiciones actuales al 2022:

**TABLA 2-10: Precios costos de bioetanol en la República de Argentina**

PRECIOS DE BIOETANOL [\$ / L]	
Período	Bioetanol de maíz (ARS/litro)
ago-22	103,76
jul-22	100,74
jun-22	98,28
may-22	96,35
abr-22	94,93

*Fuente: Extraído en base a (Secretaria de la Energía de la Nación Argentina, 2022)*

## 2.28. SITUACIÓN ENERGÉTICA CON RESPECTO A BIOCOMBUSTIBLES EN BRASIL

Lastimosamente y como era de esperarse el mercado de combustibles de Brasil experimenta una menor demanda, el etanol el cual sufre una pérdida de competitividad, el coordinador del Instituto De Estudios Técnicos Sobre Petróleo, Gas y Biocombustibles INEEP Rodrigo Leão manifestó: "Los primeros efectos están relacionados con una menor demanda y la caída de precios, pero aún es difícil estimar otras repercusiones, que dependerán de la duración de esta crisis".

El cultivo de la caña de azúcar es una práctica agrícola común en América Latina, ya sea por condiciones climáticas o por razones histórico-coloniales, dirigiéndose al abastecimiento del naciente mercado interno, lo mismo que al suntuoso mercado metropolitano europeo. Gran parte de las actuales naciones latinoamericanas tuvieron en su pasado contacto con esa cultura agrícola, y frecuentemente siguen cultivándola. (Sampaio, 2012)

## **2.29. SITUACIÓN DE LOS PRECIOS DEL PETRÓLEO AFECTAN AL MERCADO DE BIOCOMBUSTIBLES**

La caída del precio del petróleo también afecta a los biocombustibles, la estatal Petrobras, que domina el segmento de refinación, recortó los valores de la gasolina en 9,5% la segunda semana de marzo y en otro 12% al siguiente mes, además de anunciar una rebaja de 7,5% en el diésel. Esto resulta sumamente perjudicial a la competitividad de los biocombustibles, y es probable que los ingenios de caña de azúcar se centren en producir azúcar en lugar de etanol en la próxima cosecha.

Según la Asociación de la Industria de la Caña de Azúcar UNICA: "Las regiones del centro y sur de Brasil vendieron 2.400 millones de litros (MI) de etanol en febrero, de los cuales 2.280MI se destinaron al mercado interno y se exportaron 121MI. Brasil está concentrado en desarrollar su industria de biocombustibles para reducir las emisiones de carbono a través del programa RenovaBio, que debería ayudarlo a alcanzar los objetivos del Acuerdo de París; sin embargo, las proyecciones probablemente estarán sujetas a cambios".

## **2.30. SITUACIÓN ENERGÉTICA CON RESPECTO A BIOCOMBUSTIBLES EN ESTADOS UNIDOS**

Debido a la coyuntura del 2020 y al ser Estados Unidos uno de los países que presentó altos niveles de contagio, toda la industria de los biocombustibles (entre ellos el bioetanol) pasa por un problema económico, con el parque automotor parcialmente paralizado y el precio del petróleo fluctuante durante el 2020, los productores ya lidiaban contra la sobreoferta crónica y la agitación comercial.

El director ejecutivo del productor estadounidense de etanol Green Plains Incorporated, ante la problemática actual dijo: "Cuando salgamos de estos dos eventos Cisne Negro, la guerra de precios del petróleo, probablemente veremos una industria diferente definitivamente hay plantas que se quedarán sin capital".

Las plantas de etanol a base de maíz están cerrando en todo el territorio estadounidense, la gasolina de este país alcanzó un mínimo en los últimos 20 años y los precios en estaciones de servicio ya están por debajo de 1 dólar el galón en algunos estados, esto debido a una guerra de precios del petróleo entre Rusia y Arabia Saudita que provocó el colapso de los mercados del crudo y el brote de la pandemia que ha afectado la demanda.

Si bien tener combustible barato es una buena noticia para los consumidores, por otra parte, tiene un efecto negativo ya que perjudica a productores de biocombustibles y a agricultores estadounidenses, que venden aproximadamente un tercio de sus cultivos de maíz a la industria del etanol.

Los problemas de almacenamiento es otro factor para el cierre de plantas, ya que los productores están luchando por encontrar almacenamiento a medida que la demanda se hunde, según Green Plains, entre tres y cuatro mil millones de galones de producción en Estados Unidos podrían quedar estáticos en los próximos 30 días, Monte Shaw, director ejecutivo de la Asociación de Combustibles Renovables de Iowa dijo al respecto: "En algún momento, los tanques se llenan, los vagones también y usted comienza a llenar tazas de café en la cafetería entonces, se cierra la planta".

### **2.31. SITUACIÓN EN BOLIVIA**

El Gerente del Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE) citó la "necesidad urgente que tiene que ver con dejar de quemar combustibles negros para producir combustibles verdes que nos ayuden, por una parte, a ahorrar divisas y mejorar la posición de dependencia externa, y, por otra, a contaminar menos el medioambiente, al mismo tiempo que se generan más alimentos". (IBCE, 2019)

La industria azucarera en Bolivia tiene una larga tradición y ha llegado a constituirse como una de las agroindustrias más importantes del país, uno de los principales usos industriales de la caña de azúcar es la producción de alcohol etílico, que se obtiene a partir de la transformación del jugo o de las mieles (melaza). Actualmente son ocho las empresas que participan del sector (enero 2014-marzo 2018) localizadas en los departamentos de Santa Cruz, La Paz y Tarija. A nivel nacional se reportó la producción de siete tipos del alcohol etílico dependiendo del grado alcohométrico (°GL): 93, 94,5,

96,02, 96, 96,1, 96,2 y 99,2. El volumen total de producción de alcohol etílico, durante el periodo 2014-2017, fue de 540,57 MM de litros, dentro el cual el alcohol etílico de 96 °GL fue el de mayor producción, llegando a presentar un volumen de 273,12 MM de litros (aproximadamente el 50 % del total producido). La demanda interna de alcohol etílico, entre enero de 2014 y marzo de 2018, reportó un volumen total de 28,55 MM de litros, de los cuales el 84,82 %, es decir, 24,21 MM de litros, corresponde al alcohol de 96 °GL, la demanda interna de alcohol etílico representó el 5 % del volumen total producido por las empresas del sector. La demanda externa de alcohol etílico, reportó un volumen total de 509,88 MM de litros, de los cuales el 50 %, es decir 256 millones de litros, corresponde al alcohol de 96 °GL, la demanda externa de alcohol etílico representó el 94 % del volumen total producido por las empresas del sector. El sector generó un valor de 174,34 MM de Bs por concepto de ingresos en el mercado interno, el tipo de alcohol que generó mayores ingresos, fue el de 96 °GL, llegando a representar el 85 % del total. Asimismo, se generó un valor total de 239,87 MM de USD por concepto de ingresos provenientes del mercado externo, el tipo de alcohol que generó mayores ingresos durante el periodo de análisis fue, al igual que en el mercado interno, el de 96 °GL, llegando a representar el 48 % del total, es decir 117,35 MM de USD. Respecto a la evolución trimestral de los precios durante el periodo 1er Trimestre 2014 – 1er Trimestre 2018 en el mercado interno, el alcohol etílico de 96 °GL presentó precios promedios diversos que oscilaron entre 4,30 a 10,97 Bs/litro a nivel nacional. En relación a los precios promedios aplicados en el mercado externo, se advierte que los precios promedios del alcohol de 96 °GL sufrieron incrementos y disminuciones durante el periodo de análisis, dependiendo del país de destino del producto, contrariamente a la tendencia de los otros tipos de alcohol que en general disminuyeron. Durante el periodo 2014-2017 la empresa IAGSA presenta la mayor cuota de mercado con una participación que se encuentra en el rango de [45 % - 50 %], seguida de Aguaí con una participación que oscila entre [25 % - 30 %] y UNAGRO en un nivel del [10 % - 15 %]. El nivel de concentración calculado a través del HHI, refleja valores que promedian alrededor de los 3.215 puntos, para el periodo 2014 - 2017, lo que indica que el mercado de alcohol etílico en Bolivia, se encuentra altamente concentrado. (Autoridad de Fiscalización de Empresas, 2018)

En conclusión se podría concluir que la producción de bioetanol principalmente viene de los complejos agroindustriales de caña localizados en el departamento de Santa Cruz.

## **2.32. EFECTOS EN LA INDUSTRIA DE ENERGÍA BIOCOMBUSTIBLES**

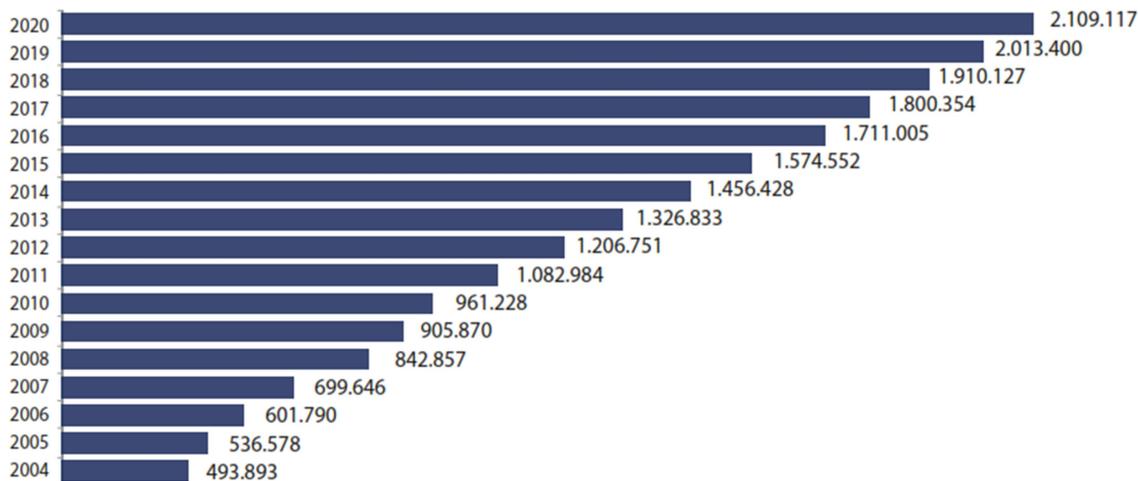
Debido a la coyuntura del 2022, el mercado del petróleo se ha visto afectado y ni que decir de los combustibles amigables con el medio ambiente, esto debido a que la materia prima es obtenida principalmente de la industria alimenticia por lo tanto debido a los efectos al sector energético por la guerra en Ucrania y provocan que en diversos países se produce la reducción de la producción de materia prima.

A la vez también cabe recalcar que sin el uso de motorizados el consumo de combustibles reduce notablemente, causando un daño económico desfavorable a distintos países de la región.

## **2.33. ESTUDIO SOBRE EL PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL**

La siguiente recopilación estadística es resultante de las publicaciones de estadísticas del Parque Automotor 2020 del Instituto Nacional de Estadística en base a datos del RUAT (Registro único para la Administración Tributaria Municipal). A 2020, el parque automotor de Bolivia alcanzó a 2.109.117 vehículos, con base en el Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT), el Instituto Nacional de Estadística (INE) reporta que a 2020 el parque automotor en Bolivia alcanzó a 2.109.117 vehículos, cantidad superior en 4,8% a la registrada en 2019, cuando llegó a 2.013.400 unidades. Lo que se ve es un inminente incremento del parque automotor lo que requiere regulaciones especiales por los entes reguladores a nivel regional y nacional.

### ILUSTRACIÓN 2-8: Parque automotor nacional en número de vehículos en línea temporal (2004 -2020)

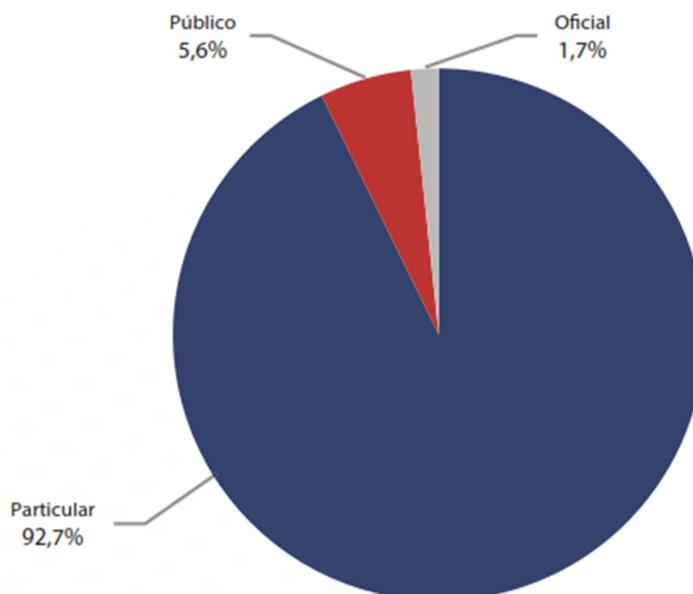


*Fuente: Extraído en base a Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT) e Instituto Nacional de Estadística, 2020.*

En Bolivia, 92,7% del parque automotor se registró como Servicio Particular; el Servicio Público es el segundo en importancia con una participación de 5,6%; en tanto que, el Servicio Oficial alcanzó a 1,7%.

Se podría decir que la anterior ilustración muestra un crecimiento casi lineal.

**ILUSTRACIÓN 2-9: Distribución del parque automotor nacional por Tipo de servicio  
(En porcentaje, 2020)**



*Fuente: Extraído en base a Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT) e Instituto Nacional de Estadística, 2020.*

Hasta 2020, el número de vehículos registrados como Servicio Particular se incrementó a 87.640 unidades, 4,7% con relación a 2019; asimismo, los de Servicio Público presentaron variación positiva de 5,6% que equivale a 7.447 vehículos adicionales y los de Servicio Oficial 1,7%, igual a 630 vehículos más, respecto al año 2019.

**TABLA 2-11: Parque automotor nacional por Tipo de servicio (En número de vehículos y porcentaje, 2019-2020)**

TIPO DE SERVICIO	2019		2020		VARIACIÓN PORCENTUAL
	Número de vehículos	Participación porcentual	Número de vehículos	Participación porcentual	
TOTAL	2.013.400	100,0	2.109.117	100,0	4,8
Particular	1.868.438	92,8	1.956.078	92,7	4,7
Público	110.191	5,5	117.638	5,6	6,8
Oficial	34.771	1,7	35.401	1,7	1,8

*Fuente: Extraído en base a Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT) e Instituto Nacional de Estadística, 2020.*

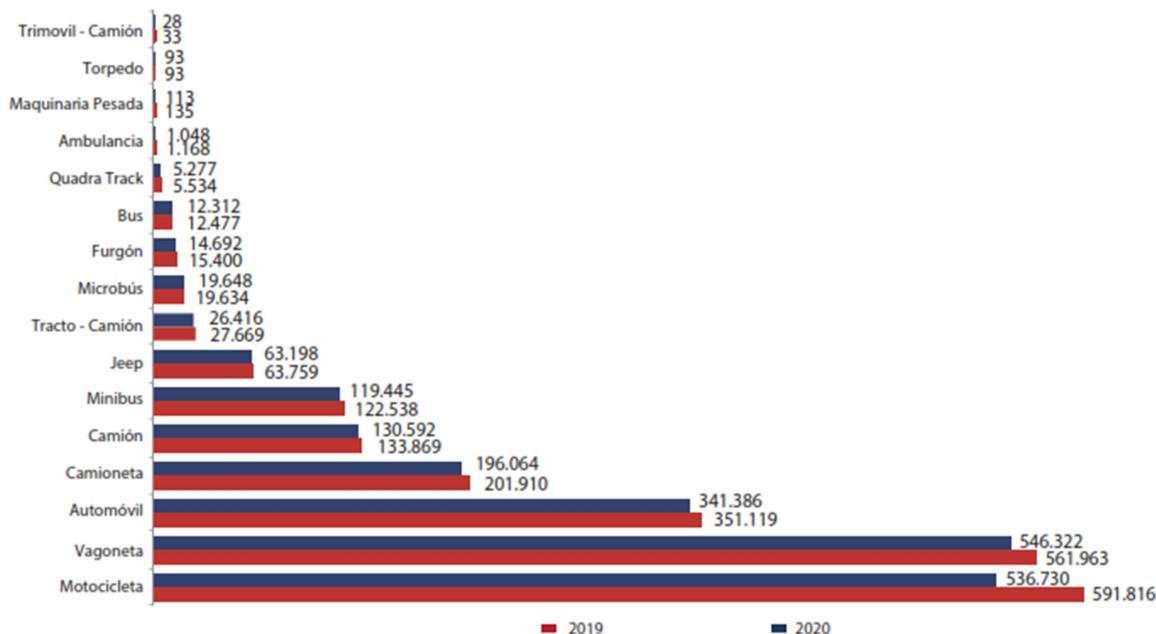
Según clase de vehículos, las motocicletas constituyeron el grupo más importante del parque automotor, que hasta el 2020 registraron 591.816 unidades; le siguen en orden de importancia, 561.963 vagonetas y 201.910 camionetas.

**TABLA 2-12: Parque automotor según clase de vehículo (En número de vehículos y porcentaje, 2019-2020)**

CLASE DE VEHÍCULO	2019		2020		VARIACIÓN PORCENTUAL
	Número de vehículos	Participación porcentual	Número de vehículos	Participación porcentual	
TOTAL	2.013.400	100,0	2.109.117	100,0	4,8
Motocicleta	536.730	26,7	591.816	28,1	10,3
Vagoneta	546.322	27,1	561.963	26,6	2,9
Automóvil	341.386	17,0	351.119	16,6	2,9
Camioneta	196.064	9,7	201.910	9,6	3,0
Camión	130.592	6,5	133.869	6,3	2,5
Minibús	119.445	5,9	122.538	5,8	2,6
Jeep	63.198	3,1	63.759	3,0	0,9
Tracto-Camión	26.416	1,3	27.669	1,3	4,7
Microbús	19.684	1,0	19.634	0,9	(0,3)
Furgón	14.692	0,7	15.400	0,7	4,8
Bus <sup>(1)</sup>	12.312	0,6	12.477	0,6	1,3
Quadra Track	5.277	0,3	5.534	0,3	4,9
Ambulancia <sup>(2)</sup>	1.048	0,1	1.168	0,1	0,0
Maquinaria Pesada <sup>(3)</sup>	113	0,0	135	0,0	19,5
Torpedo	93	0,0	93	0,0	0,0
Trimovil-Camión	28	0,0	33	0,0	17,9

*Fuente: Extraído en base a Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT) e Instituto Nacional de Estadística, 2020.*

**FIGURA 2-2: Parque automotor según clase de vehículo (En número de vehículos 2019-2020)**



*Fuente: Extraído en base a Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT) e Instituto Nacional de Estadística, 2020.*

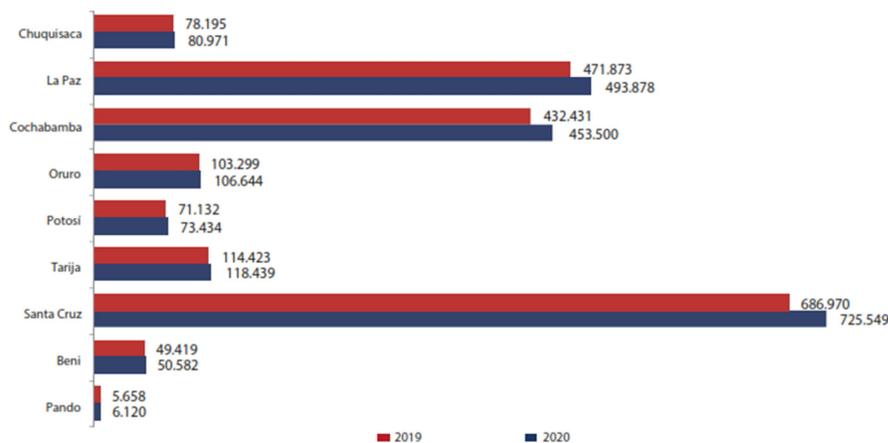
El departamento de Santa Cruz tiene la mayor cantidad de vehículos registrados a nivel nacional, con 34,4% respecto al total. A 2020, el departamento de Santa Cruz registró 725.549 vehículos, 34,4% del total; le sigue La Paz con 493.878 con 23,42% y Cochabamba con 453.500 unidades. Estos departamentos concentraron 79,32% del total del parque automotor a nivel nacional.

**TABLA 2-13: Parque automotor según Departamento (En número de vehículos y porcentaje, 2019-2020)**

TIPO DE SERVICIO	2019		2020		VARIACIÓN PORCENTUAL
	Número de vehículos	Participación porcentual	Número de vehículos	Participación porcentual	
<b>TOTAL</b>	<b>2.013.400</b>	<b>100,0</b>	<b>2.109.117</b>	<b>100,0</b>	<b>4,8</b>
Chuquisaca	78.195	3,9	80.971	3,8	3,6
La Paz	471.873	23,4	493.878	23,4	4,7
Cochabamba	432.431	21,5	453.500	21,5	4,9
Oruro	103.299	5,1	106.644	5,1	3,2
Potosí	71.132	3,5	73.434	3,5	3,2
Tarija	114.423	5,7	118.439	5,6	3,5
Santa Cruz	686.970	34,1	725.549	34,4	5,6
Beni	49.419	2,5	50.582	2,4	2,4
Pando <sup>(1)</sup>	5.658	0,3	6.120	0,3	8,2

*Fuente: Extraído en base a Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT) e Instituto Nacional de Estadística, 2020.*

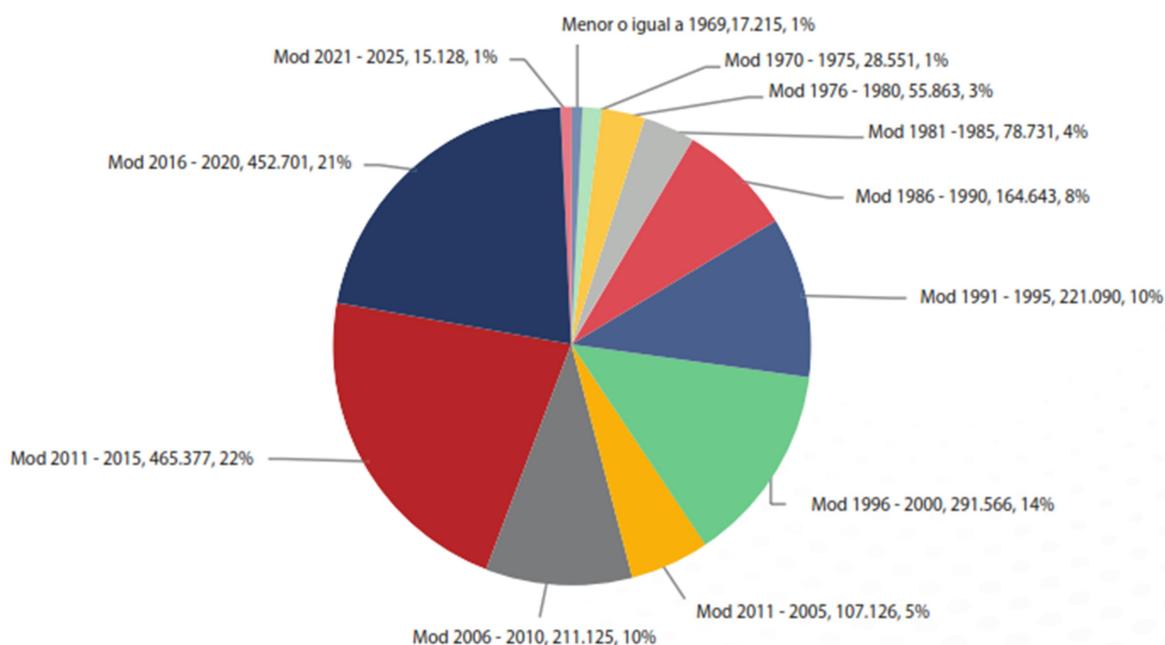
**FIGURA 2-3: Parque automotor según Departamento (En número de vehículos, 2019-2020)**



*Fuente: Extraído en base a Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT) e Instituto Nacional de Estadística, 2020.*

Los vehículos modelo 2011-2015 representan 22,1%. A 2020, los vehículos modelo 2011-2015 sumaron 465.377 unidades, equivalente a 22,1% del parque automotor; en segundo lugar, los vehículos cuyos modelos corresponden a los años 2016-2020, llegan a 452.701 unidades que representan 21,5% y, en tercer lugar, los modelos 1996-2000 con 291.566 vehículos, igual a 13,8%.

**ILUSTRACIÓN 2-10: Parque automotor por año de modelo (En número de vehículos, 2020)**



*Fuente: Extraído en base a Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT) e Instituto Nacional de Estadística, 2020.*

### 2.34. MENCIÓN DE OTROS ESTUDIOS RELATIVOS AL TEMA

En la región se ha visto que existen estudios relativos a la mezcla de etanol con gasolina, ya sea en el tema de verificar proporciones, proyectos de utilización del bioetanol para apoyar el desarrollo sustentable y también el análisis de costos como el estudio de Luis Fernández dentro del Convenio CEPAL/Gobierno de Italia (Fernández, 2006), aunque se podría aseverar que la información no se atribuye a la última década, siendo todavía un tema con muchas aristas que abordar puesto que tiene un alto componente de políticas energéticas dentro de la región, siendo el caso estudiado en mayor proporción la obtención de etanol para combustible desde caña de azúcar.

Se han visto otros estudios que consideran la obtención de etanol a partir de residuos agrícolas, sin embargo, es necesario abordar con mayor profundidad las condiciones óptimas para cada proceso con el fin de implementar dicha tecnología a nivel industrial, esto fue rescatado por Escalante y Fuentes, en su estudio experimental de obtención de bioetanol a partir de residuos agrícolas de banano orgánico en Piura de Perú.

### **2.35. MENCIÓN DE LOS PUNTOS DE VISTA DE OTROS INVESTIGADORES**

Luis Fernández, sugiere realizar análisis detallado sobre los montos de inversión, costos de operación de las plantas de procesamiento de etanol, considerando las etapas de producción de la materia prima además considerar la fluctuación de los escenarios.

En el análisis de la producción de materias primas para la elaboración de bioetanol y biodiesel, y de estos biocombustibles hasta 2020, la visión estratégica de largo plazo, señala que, las ventajas económicas, la ampliación y diversificación de la matriz energética con energía renovable y sus positivos efectos sobre el medio ambiente están estimulando a que muchos países dediquen abundantes recursos en investigación y desarrollo de la tecnología para continuar reduciendo los costos de producción de los biocombustibles y hacer sostenible su viabilidad.

### **2.36. CORRIENTE O ENFOQUE ELEGIDO POR EL INVESTIGADOR**

Debido a la situación en cuanto a la factibilidad de realizar laboratorios o ensayos con las condiciones de registrabilidad, trazabilidad y objetividad, asimismo considerando la

situación actual que ha roto las cadenas de suministros, transporte de insumos, personal y otros, es que el enfoque que se propone como investigador es realizar durante la duración de la cuarentena es la ejecución de una investigación interactiva semiestructurada con métodos de recolección que puedan ser realizados en plataformas virtuales, cómo entrevistas a actores del sector energético que puedan aportar información primaria que contribuya al objetivo del proyecto de investigación. Sin embargo durante el mes de Septiembre de 2022, fue factible la realización de sesiones experimentales de laboratorio para realizar pruebas de muestras fermentadas con diferentes variantes y aplicando métodos de registrabilidad y caracterización, resultando con la producción de bioetanol, mismas fases que son documentadas en el presente proyecto. La producción de bioetanol a partir de la Oxalis tuberosa puede describirse como un proceso compuesto de las siguientes etapas: Acondicionamiento de la materia prima, hidrólisis enzimática, fermentación con biocatalizadores, separación y deshidratación, y tratamiento de efluentes.

Por otra parte, la investigación es de tipo experimental manipulando las variables operacionales del sistema estudiado y se llevó a cabo a través de la aplicación del método científico, con la intención de analizar el comportamiento operacional de una serie de proceso que se realiza en el laboratorio de ingeniería de gas y petroquímica obteniendo de esta manera los datos de la investigación, experimentar el proceso de reacción de la hidrólisis con las enzimas  $\alpha$ -amilasas y fermentación con *saccharomyces cervisiae* para la obtención del bioetanol a partir de tubérculos particularmente de la Oxalis tuberosa.

### **2.37. IDENTIFICACIÓN DE LAS FUENTES**

Dentro de la investigación comparativa, se pretende hacer un análisis de la situación dentro del contexto, también la situación regional y desde el punto de vista local, como fuentes de información primaria la realización de entrevistas y encuestas, trabajar con investigación descriptiva a partir de fuentes secundarias. Se recolectaran datos registrables resultantes de la caracterización de muestras de materia prima en proceso de fermentación en instalaciones del laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica además de muestras de bioetanol analizadas como información primaria del proceso.

### 3. CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se abordará el tipo de investigación, diseño de investigación, variables de la investigación población y muestra, ambiente de la investigación técnicas e instrumentos y procedimiento de la investigación que se aplicó para desarrollar en proyecto en el marco de los objetivos, teniendo como principales nociones a desarrollar la tipología de vehículos en el parque automotor de Bolivia, de los biocombustibles en Bolivia, la cuantificación de estaciones de servicio ubicadas geográficamente, además de la identificación del tubérculo con mayor potencial de producción para la producción de bioetanol en el área de estudio.

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Los tipos de investigación que se pondrán en implementación por las características del proyecto de investigación a abordar son:

- Investigación analítica, debido a que analizaremos el estado y el comportamiento del consumo y comercialización de biocombustibles en Bolivia. También se realizará un análisis de la composición química del tubérculo identificado como la mejor muestra para la investigación.
- Investigación exploratoria, debido a que se cuantificará las estaciones de servicio e identificara a quienes distribuyen gasolina para posicionarlos como potenciales distribuidores y comercializadores de biocombustible

#### 3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Lo que se plantea es considerar es el efecto del consumo y la demanda de biocombustibles en la actualidad en nuestro proyecto de investigación, así como definir estrategias en el área de estudio para aportar al diseño de las estrategias del proyecto de investigación.

#### 3.3. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

En el relevamiento de información primaria, con respecto a la demanda de biocombustibles y cuantificación de estaciones de servicio (E.S.) y el parque automotor del área de investigación, se analizarán las siguientes variables:

- Variables espaciales: Ciudad, Departamentos.
- Zona comercial.
- Volumen porcentual de demanda de biocombustibles anual en Bolivia
- Ubicación geográfica de las estaciones de servicio
- Comercialización de gasolina neta o en mezcla con aditivos.

### **3.4. POBLACIÓN Y MUESTRA**

En el trabajo en campo y relevamiento de información primaria, en relación a la demanda de biocombustibles y cuantificación de estaciones de servicio (E.S.) ubicadas en el área de investigación, se plantea los siguientes alcances:

Alcance temporal: 8 semanas de relevamiento en los meses de Septiembre y Octubre de 2022.

Alcance poblacional: 26 estaciones de servicio identificadas.

Alcance geográfico: Se cuantificaría las Estaciones de Servicio en la ciudad de El Alto, además se tiene la localización de los surtidores de gasolina de acuerdo al Mapa en Anexo 2-1.

Por otro lado, el estudio específico sobre la demanda del bioetanol tuvo las siguientes características:

Durante el mes de junio se desarrolló el relevamiento de información, adicionalmente se analizó la situación del parque automotor en Bolivia y su tipología por vehículos.

### **3.5. AMBIENTE DE LA INVESTIGACIÓN**

Debido a la situación energética del entorno y área de investigación, se tuvo una tendencia a realizar la investigación básica en el ambiente de campo ya que se han desarrollado técnicas que permiten obtener un mejor control llegando a la conclusión de que el realismo que produce la situación vital auténtica, haciendo posible el desarrollo de estrategias del relevamiento de información primaria, buscando así alternativas como

análisis documental de bases de datos proporcionados por el Instituto Nacional de Estadística y la Agencia Nacional de Hidrocarburos, para la recolección de información primaria en relación al área del parque automotor, biocombustibles a nivel nacional y distribución Estaciones de Servicio que comercializan combustibles en el área de interés.

En el mes de junio de 2022 se realizó una visita al Ministerio de Hidrocarburos y Energías, con el objetivo de tener más interrelación con la cartera del Ministerio de Hidrocarburos y Energías para fortalecer actividades, cabe recalcar que enmarcado en las políticas de estado para la diversificación de combustibles líquidos nuestro proyecto podrá ser un punto referencial en cuanto a producción de bioetanol en la región esto en el marco de asegurar la seguridad energética nacional.

**ILUSTRACIÓN 3-1:** Comisión de visita al Ministerio de Hidrocarburos y Energías (2022)



*Fuente: Fotografía tomada en el Ministerio de Hidrocarburos y Energía, (2022)*

### 3.6. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

Dentro de la investigación exploratoria desde un enfoque cuantitativo se analizó temas sobre la demanda actual de biocombustibles a nivel nacional en el marco de este punto se analiza también el parque automotor boliviano, llevando a cabo un análisis documental, técnica investigativa que conlleva un proceso de revisión que se realiza para obtener

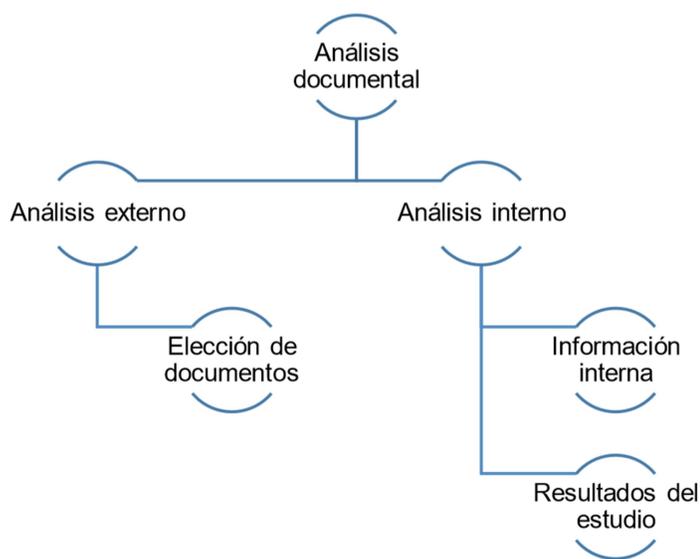
datos del contenido de dicho documento; en este caso, los documentos son fuentes primarias y principales obtenidos del Instituto Nacional de Estadística y la Agencia Nacional de Hidrocarburos.

Siguiendo los apuntes de Sánchez et al., (2018), esta técnica se describe como el análisis de contenido que se presenta en las fuentes documentales, por medio del cual se extrae de un documento los aspectos de información de mayor relevancia, para ser ordenados, clasificados y analizados desde la visión de lo que persigue el investigador. Es una forma de organizar y agrupar la información que en verdad se requiere y con la que se puede desarrollar el informe final del estudio realizado.

Independientemente del soporte donde se realiza el análisis del documento que puede ser, en papel físico, audiovisual, electrónico, etc. Cuando se realiza un análisis del documento se debe tener en cuenta dos aspectos (Arias, 2020):

- a) Análisis externo: También llamado el análisis formal, el cual es el primer paso para identificar el documento que se va a analizar.
- b) Análisis interno: También llamado análisis del contenido, se basa en evaluar el mensaje, la temática, la información dentro del documento que hemos elegido en base al análisis externo.

**ILUSTRACIÓN 3-2:** Esquema del proceso de un análisis documental



Fuente: (Arias, 2020)

Se empleó como instrumento la Ficha de registro documental. Si bien, la ficha de registro puede ser un instrumento alineado a la técnica de observación, es menester indicar que el análisis es un proceso de observación con características cognitivas por parte del investigador.

### **3.7. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

El procedimiento es realizar el análisis documental semiestructurado sobre la base de datos de:

- Boletín Estadístico del Parque Automotor del Instituto Nacional de Estadística (INE) mismo que se basa en el Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT), para el análisis del mismo en relación de la tipología de vehículos.
- Informe de la Agencia Nacional de Hidrocarburos sobre la situación de los biocombustibles en Bolivia.
- Base de datos de la Agencia Nacional de Hidrocarburos sobre las estaciones de servicio (E.S.) de combustibles líquidos a nivel nacional, para identificar las E.S. ubicados en el área de estudio.
- Paper científicos acerca de la composición química del tubérculo identificado potencial materia prima del proceso, para evaluar su aplicabilidad.

A través del análisis del Boletín Estadístico del Parque Automotor del Instituto Nacional de Estadística (INE) mismo que se basa en el Registro Único para la Administración Tributaria Municipal (RUAT), en relación de la tipología de vehículos, se identificaron muchos aspectos sin embargo es importante conocer la definición técnica de transporte liviano, pesado y unipersonal, el cual se detalla a continuación.

#### **Transporte Liviano**

De conformidad a lo establecido en el Reglamento Nacional de Inspecciones Técnicas Vehiculares, aprobado mediante D.S. N° 025-2008-MTC y modificatorias, en el numeral 4.13, del artículo 4° - Definiciones, establece lo siguiente sobre vehículo liviano

Vehículo liviano, es un "Vehículo automotor que, de acuerdo a la clasificación vehicular establecida por el Reglamento Nacional de Vehículos, pertenece a cualquiera de las

siguientes categorías M1, M2, N1, O1 y O2, y que su peso bruto es de 3,5 Toneladas".  
(sutran.gob.pe)

### **Transporte Pesado**

Aspectos básicos de los camiones de carga pesada

Como mencionamos al comenzar el artículo, los camiones de cargas pesadas son un engranaje trascendental en el funcionamiento logístico de cualquier industria: a través de ellos se hace posible trasladar los productos y hacerlos llegar a su destino en el menor tiempo posible y con el mejor rendimiento utilizando la menor cantidad de recursos en el proceso. Para que podamos considerar un vehículo de transporte como un camión de cargas pesadas el mismo debe poseer las siguientes características:

- Tener una capacidad de carga que supere los 3.501 kilogramos.
- Debe poder remolcar hasta 9 toneladas en total.
- Contar con una cabina metálica con puertas de ambos lados laterales.

Para poder manipular estos vehículos de carga se requiere que el conductor posea una licencia de tipo C1, siendo autorizados a través de ellas a movilizar productos en dichos equipos que por su voluminosidad requieren de una mayor habilidad en conducción y haber pasado las exigencias que se solicitan antes de emitir el registro específico.

A los camiones destinados a la carga pesada también se los suele denominar como equipos de gran longitud, ya que poseen más de 12 metros de largo. Estos deben llevar siempre una etiqueta de tipo V6 como indicador en algún sitio, de aproximadamente 130 centímetros de largo por 25 centímetros de altura. Esta etiqueta indicativa tiene que ser de un color amarillo flujo con características reflectantes para ser fácilmente accesible a la vista y poseer un borde rojo de aproximadamente 4 centímetros con las mismas características. En el caso de que la carga sobresalga del vehículo, se exige según la normativa española la colocación de otra etiqueta bajo el nombre de "V-20" para que los demás conductores puedan visibilizar la mercancía y no chocar con la misma.

Cuando la carga sobresalga de la parte posterior del vehículo, deberá colocarse una etiqueta denominada V-20 con el objetivo de que los demás conductores puedan visualizar la mercancía y evitar colisiones con la misma.

Si bien puede parecer como que hablamos de un único vehículo al mencionar a los camiones destinados a las cargas pesadas, lo cierto es que los hay de diferentes tipos y con distintas denominaciones y funcionalidades. Veamos cuáles son a continuación:

- ✓ Tranvías
- ✓ Furgones
- ✓ Camiones
- ✓ Autocar
- ✓ Remolques y semirremolques
- ✓ Autobuses
- ✓ Tren de carretera (Nuria, 2018)

### Transporte Unipersonal.

Son vehículos de tipo unipersonal, motorizados con dos, tres o cuatro ruedas, tal como se indica en la siguiente Tabla.

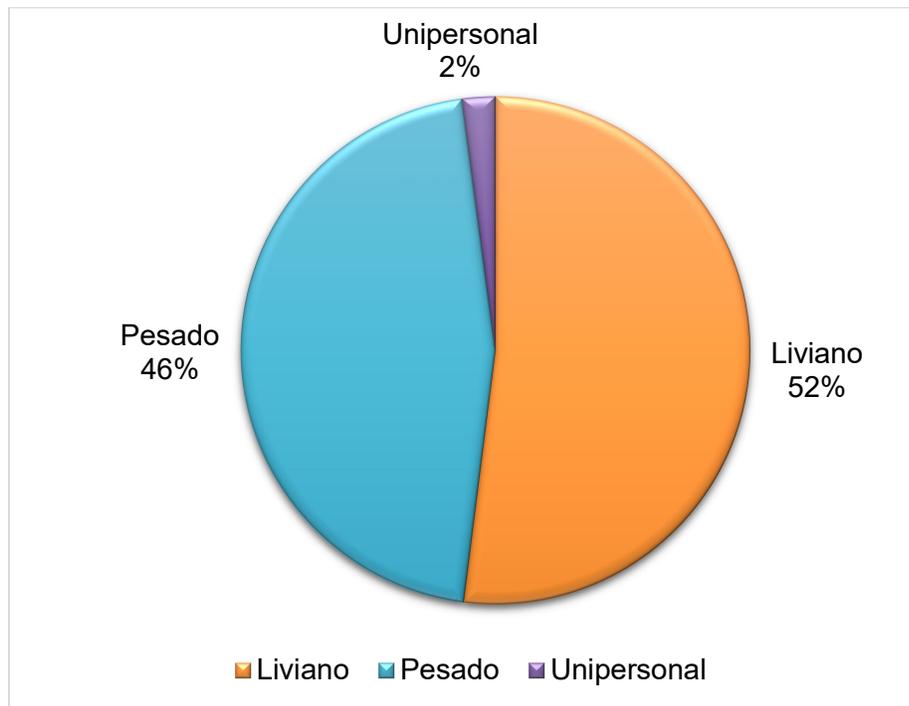
**TABLA 3-1:** Vehículos de categoría unipersonal

CATEGORÍA	CÓDIGO	TIPO	IMAGEN	DESCRIPCIÓN
L1	BMT	BICIMOTO/ CICLOMOTOR		Vehículos de dos ruedas, diseñados para velocidades que no superen los 45 km/h, con cilindrada máxima de 50 cm <sup>3</sup> y para el caso de motores eléctricos la potencia máxima no sobrepase los 4 kW. Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.4
L2	CMDR	CICLOMOTOR DE TRES RUEDAS		Vehículos de tres ruedas, diseñados para velocidades que no superen los 45 km/h, con cilindrada máxima de 50 cm <sup>3</sup> , y para el caso de motores eléctricos la potencia máxima no sobrepase los 4 kW. Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.4
L3	MTO	MOTOCICLETA		Vehículos de dos ruedas, diseñados con motor de combustión interna cuya cilindrada supera los 50 cm <sup>3</sup> y con velocidad de diseño superior a 45 km/h. Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.5.
L4	MTOS	MOTOCICLETA CON SIDEAR/ MOTO TRICICLO		Vehículos de dos ruedas con sidecar, diseñados con motor de combustión interna cuya cilindrada supera los 50 cm <sup>3</sup> y con velocidad de diseño superior a 45 km/h. Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.5.
L5	TRC1	TRICAR		Vehículos de tres ruedas simétricas al eje longitudinal del vehículo, diseñado para velocidades superiores a los 45 km/h, que su cilindrada sea mayor o igual a 50 cm <sup>3</sup> . Ver NTE INEN-ISO 3833, 3.5.
L5	TRC2	TRICIMOTO/ MOTO TAXI		
L6	CMT1	CUATRIMOTOR/ CUADRAN		Vehículos de cuatro ruedas, diseñados para velocidades que no superen los 45 km/h, con cilindrada máxima de 50 cm <sup>3</sup> para motores de encendido por chispa o con un motor eléctrico de potencia máxima de 4kW y que su PBV sin incluir baterías en el caso de vehículos eléctricos no exceda los 350 kg, para el caso de vehículos eléctricos.
L7	CMT2	CUATRIMOTOR/ CUADRAN		Vehículos de cuatro ruedas, cuya tara sea inferior o igual a 400 kg. (550 kg. para vehículos destinados al transporte de mercancías), no incluida la masa de las baterías para los vehículos eléctricos, y potencia máxima inferior o igual a 15 kW, para el caso de vehículos eléctricos.

Fuente: (NTE 2656, 2016)

De modo que se comprendido las anteriores definiciones respecto a la tipología de vehículos se realizó un análisis documental y procesamiento de datos de la base de datos del Instituto Nacional de Estadística del parque automotor boliviano en gestión 2020. Del cual se obtuvieron los siguientes resultados detallados en el siguiente grafico estadístico.

**FIGURA 3-1:** Porcentaje de vehículos clasificados por su tipología a nivel nacional al año 2021



*Fuente: Elaboración propia en base a datos extraídos del Instituto Nacional de Estadística (2021)*

De acuerdo a datos relevados mediante el análisis documental de “Bolivia Parque Automotor por Tipo De Servicio y Clase de Vehículo, 2003 - 2021” del Instituto Nacional de Estadística, el 52% del parque automotor boliviano corresponde a transporte liviano, sumándose el 2% del transporte unipersonal se cuenta con un 54% del parque automotor que demandan combustibles como la gasolina, super etanol 92 o gas natural vehicular, actualmente la producción de los combustibles como la gasolina no abastece al mercado interno por lo que se realizan importaciones de volúmenes considerables para abastecer este mercado, sin embargo el gobierno mediante Yacimientos Petrolíferos Fiscales Bolivianos ya desde el año 2018 inicia con actividades para la comercialización de bioetanol como aditivo, es necesario dar a conocer los acontecimientos más importantes en materia de biocombustibles en Bolivia el cual se describe de la siguiente manera.

- **2018**

A partir del mes de noviembre de 2018, resultado de la Ley de Aditivos de Origen Vegetal N° 1098 de fecha 15 de septiembre de 2018, YPFB inicia la comercialización de Gasolina con Aditivo de Origen Vegetal.

En fecha 31 de octubre de 2018 se suscriben los contratos YPFB/GLC 000479, YPFB/GLC 000481 y YPFB/GLC 000482, con los Ingenios AGUAÍ, GUABIRÁ y UNAGRO para el Suministro de Aditivo de Origen Vegetal (Etanol Anhidro).

Los volúmenes de etanol anhidro retirados con los contratos 2018 estuvieron destinados a la dosificación de la Gasolina Súper Etanol 92 únicamente.

Se comercializó el producto en las ciudades de La Paz, Cochabamba, Santa Cruz y Tarija

- **2019**

Los volúmenes de etanol anhidro retirados con los contratos 2019 estuvieron destinados a la dosificación de la Gasolina Súper Etanol 92 y Gasolina Especial +.

Se comercializaron los productos en las ciudades de La Paz, Cochabamba, Santa Cruz y Tarija.

La Gasolina Especial Plus inició su comercialización el mes de abril en Santa Cruz, el mes de mayo en Cochabamba y La Paz, y el mes de octubre en Tarija; la comercialización de Gasolina Especial Plus con base Importada recién inició su comercialización el mes de septiembre.

Durante la gestión 2019 no se pudieron efectuar las adecuaciones necesarias para poder comercializar Gasolinas con Aditivo de Origen Vegetal en todo el Territorio Nacional, abarcándose únicamente 4 de las 22 zonas comerciales.

Debido a la Localización Geográfica de los Ingenios, durante los acontecimientos posteriores a las elecciones presidenciales, se imposibilitó el transporte de Etanol Anhidro, motivo por el cual se tuvo que suspender la comercialización de gasolinas con este aditivo en Cochabamba Tarija y La Paz.

Por la autonomía de etanol disponible en los tanques de Santa Cruz se pudo continuar la comercialización en esta plaza.

A partir de la última semana de noviembre, una vez restablecido el tránsito en las carreteras, se reanudan los despachos de gasolinas con aditivo de Origen Vegetal en las Zonas Comerciales de Cochabamba, Tarija y la Paz.

Se suscribe una adenda para el suministro hasta el 31 de marzo de 2020.

- **2020**

Resultado de la pandemia los contratos recién se llegan a suscribir el 30 de junio con AGUAI, el 2 de julio con GUABIRA y el 29 de julio con UNAGRO.

En consumo se redujo como efecto de la cuarentena implementada, las existencias en los tanques de las plantas de YPFB fueron suficientes para cubrir los despachos de gasolina requeridos entre fines de marzo y finales de junio (periodo durante el cual no contábamos con contrato para suministro de etanol).

A partir del mes de julio la demanda de gasolinas se fue incrementado con la flexibilización de las medidas de confinamiento, sin embargo, solo es hasta el mes de octubre que el consumo se incrementa a los niveles anteriores a la pandemia (resultado del movimiento previo a las elecciones nacionales y no de un restablecimiento de la demanda).

Se suscribe una adenda para el suministro hasta el 31 de marzo de 2021.

A continuación, se muestran las Zonas Comerciales en las que actualmente se comercializa Gasolina con Etanol las cuales representan el 71,8% de la demanda nacional de gasolina como se muestra en la siguiente tabla.

**TABLA 3-2:** Demanda de Gasolina en mezcla de Bioetanol (etanol anhidro) en Bolivia al 2021

<b>ZONA COMERCIAL</b>	<b>DEMANDA 2021</b>	<b>%</b>
La Paz	555.524	28,7%
Oruro	132.099	6,8%

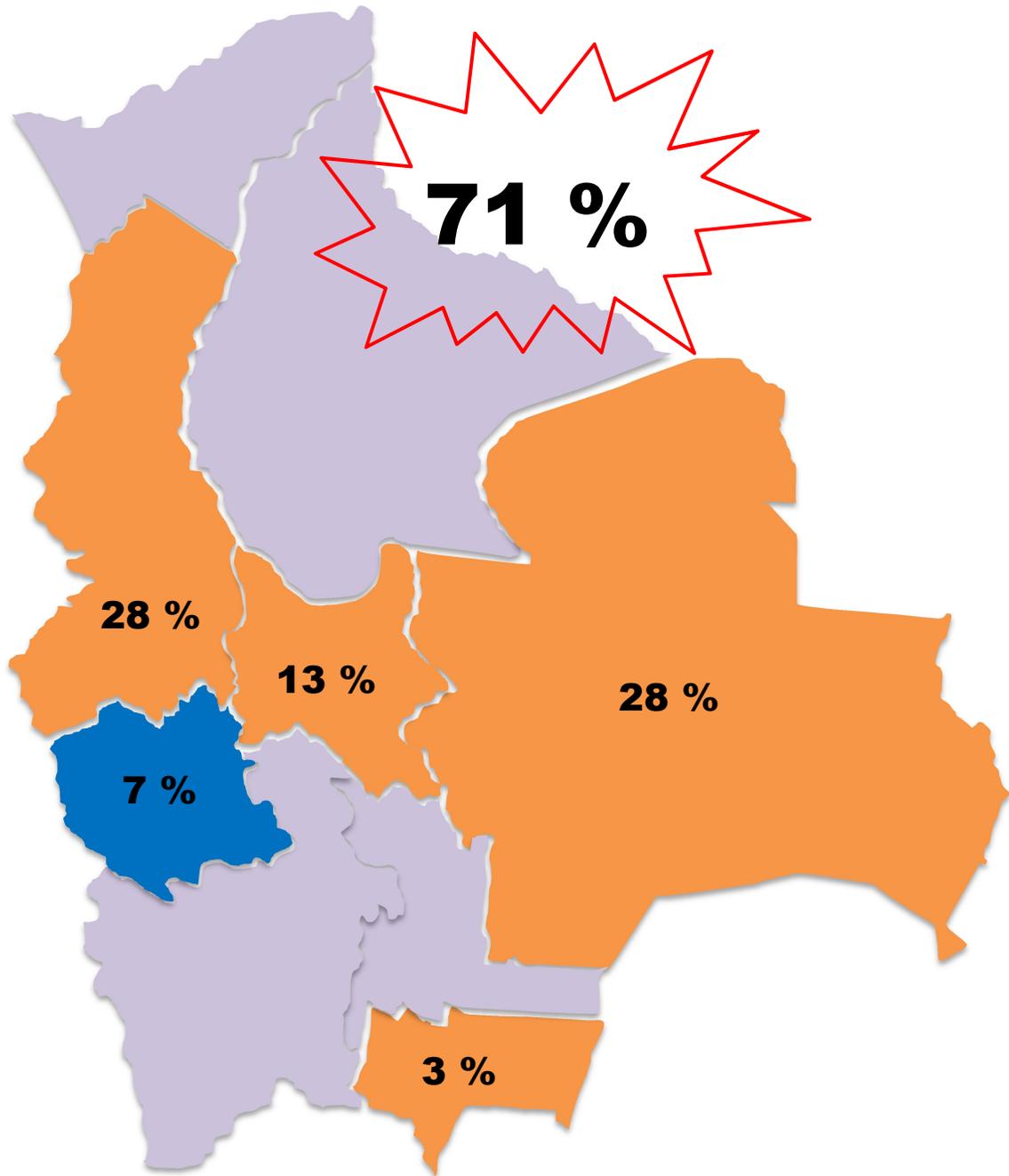
ZONA COMERCIAL	DEMANDA 2021	%
Cochabamba	242.976	12,6%
Trinidad	42.130	2,2%
Puerto Villarroel	54.067	2,8%
Guayaramerin	13.878	0,7%
Riberalta	26.508	1,4%
Cobija	22.991	1,2%
Tarija	51.871	2,7%
Bermejo	6.707	0,3%
Yacuiba	19.122	1,0%
Villamontes	10.029	0,5%
Santa Cruz	538.476	27,8%
Camiri	10.572	0,5%
San José	21.674	1,1%
Puerto Suarez	14.206	0,7%
Sucre	58.842	3,0%
Monteagudo	4.776	0,2%
Potosí	65.845	3,4%
Tupiza	11.745	0,6%
Uyuni	23.089	1,2%
Villazón	7.372	0,4%

<b>ZONA COMERCIAL</b>	<b>DEMANDA 2021</b>	<b>%</b>
<b>TOTAL</b>	<b>1.934.499</b>	<b>100,00%</b>

*Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos, (2021)*

Se identificó que tiene mayor impacto en los volúmenes totales de Etanol, incrementar el porcentaje de mezcla en estas Zonas Comerciales, que iniciar la comercialización en otras zonas comerciales que no cuentan con facilidades logísticas y requieren inversiones importantes de acuerdo a los porcentajes ubicados geográficamente en la siguiente figura.

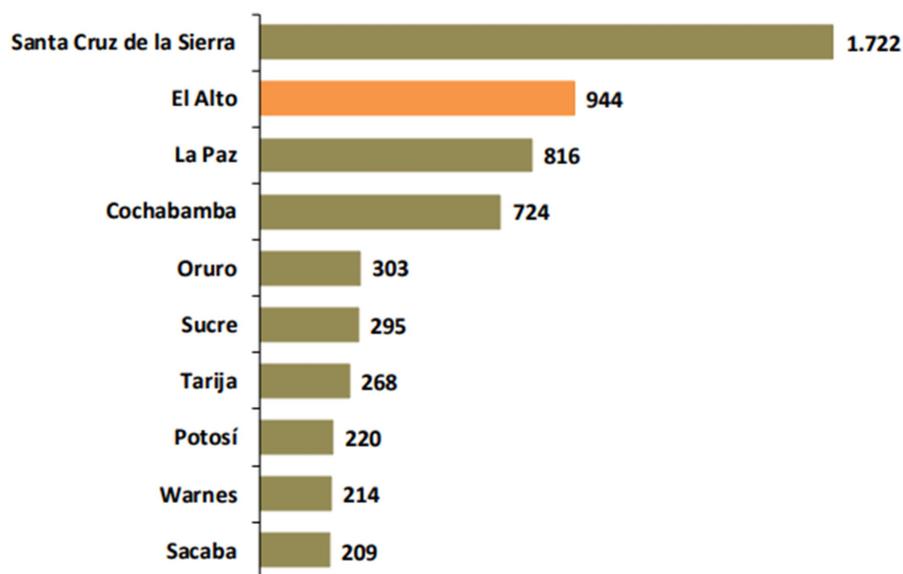
**ILUSTRACIÓN 3-3:** Porcentaje de principales departamentos consumidores de Gasolina en mezcla de Bioetanol (etanol anhidro) en Bolivia al 2021



Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos, (2021)

Se puede observar que hay mayor demanda en los departamentos de Santa Cruz y La Paz ambos con 28% del consumo total, en el marco del proyecto de Producción de bioetanol a partir de residuos de tubérculos para aumentar el octanaje de la gasolina en la ciudad de El Alto, se realizó un análisis documental y la cuantificación de las Estaciones de Servicio Disponibles en el área de estudio, analizando la demanda del departamento de La Paz con un 28% se deduce que esto puede deberse al constante crecimiento demográfico de la ciudad de El Alto ya que este se posiciona como la segunda ciudad más poblada después de Santa Cruz, como se observa en la siguiente gráfica.

**ILUSTRACIÓN 3-4:** Población proyectada de principales municipios de Bolivia, 2020 (En miles de habitantes)



*Fuente: Instituto Nacional de Estadística y Elaboración MDPyEP – DAPRO*

El municipio de El Alto fue creado en el marco de la Ley No. 628, el 6 de marzo de 1985 como cuarta sección de la provincia Murillo del departamento de La Paz y se ubica al oeste del país en la meseta altiplánica. Posteriormente, según la Ley No. 1014 de 26 de septiembre de 1988 se eleva El Alto a rango de ciudad. El municipio de El Alto cuenta con una superficie de 387,56 Km<sup>2</sup> que representa el 7.58% de la superficie de la Provincia Murillo, se divide con fines administrativos en 14 distritos, 10 urbanos y 4 rurales.

Al ser una ciudad en constante crecimiento demográfico esta situación supone mayor demanda de energía y combustibles a largo plazo, por lo que consecuentemente se

identifica y cuantifica las estaciones de servicio en la ciudad de El Alto como potenciales comercializadores de gasolina en mezcla de bioetanol, contribuyendo de esta manera a la reactivación económica desde el apoyo a los productores del tubérculo Oxalis tuberosa (oca) en el altiplano hasta la producción y comercialización en el área de estudio, como se muestra en la siguiente tabla.

**TABLA 3-3** Estaciones de servicio de combustibles líquidos en la ciudad de El Alto

Nº	EMPRESA	CIUDAD	DEPARTAMENTO	DIRECCIÓN
1	ESTACIÓN DE SERVICIOS NIMAGASBOL	EL ALTO	LA PAZ	Carretera La Paz - Oruro, Zona Mazo Cruz, Ciudad De El Alto
2	ESTACIÓN DE SERVICIOS ALTAMIRANO S.R.L	EL ALTO	LA PAZ	Carretera La Paz - Viacha Km. 7 De La Ciudad De El Alto
3	DISTRIBUIDORA DE GASOLINA Y LUBRICANTES SAN PABLO - ALTO LIMA	EL ALTO	LA PAZ	Av. Sucre Esq. Pucarani, Zona Alto Lima - Ciudad De El Alto
4	DISTRIBUIDORA DE GASOLINA Y LUBRICANTES SAN PABLO - CÍVICA	EL ALTO	LA PAZ	Av. Cívica No. 200 Esq. Calle 3, Ciudad De El Alto
5	SURTIDOR VICTORIA S.R.L	EL ALTO	LA PAZ	Av. 6 De Marzo Esq. Calle 12 S/N, Ciudad De El Alto
6	ILLIMANI	EL ALTO	LA PAZ	Carretera A Viacha Km. 3 Av. Panamericana, Ciudad De El Alto
7	EL PARAÍSO S.R.L	EL ALTO	LA PAZ	Av. "A-4" No. 1615 - Zona Villa Adela
8	TEXAS S.R.L.	EL ALTO	LA PAZ	Av. Satélite Esq. Av. Cívica Nº 101 - Ciudad De El Alto
5	SEÑOR DE MAYO	EL ALTO	LA PAZ	Av. Laja Esq. Av. No. 9 -

<b>N°</b>	<b>EMPRESA</b>	<b>CIUDAD</b>	<b>DEPARTAMENTO</b>	<b>DIRECCIÓN</b>
				Rio Seco Ciudad De El Alto - Dpto. De La Paz
<b>6</b>	SAN SEBASTIÁN	EL ALTO	LA PAZ	Carretera La Paz - Oruro - Urbanización San Sebastián Zona Senkata Dpto. De La Paz
<b>7</b>	ESTACIÓN DE SERVICIO MUNDIAL	EL ALTO	LA PAZ	Carretera La Paz - Oruro Km. 16 Ciudad De El Alto - Dpto. De La Paz
<b>8</b>	EDUARDO YUPANQUI	EL ALTO	LA PAZ	Carretera. La Paz- Copacabana Km. 8 - San Roque Ciudad De El Alto- Dpto. De La Paz
<b>9</b>	ALTO LIMA S.R.L	EL ALTO	LA PAZ	Av. 10 Esq. Calle Sucre - Zona Alto Lima Ciudad De El Alto - Dpto. De La Paz
<b>10</b>	DISTRIBUIDORA DE GASOLINA Y LUBRICANTES SAN PABLO - VILLA BOLÍVAR	EL ALTO	LA PAZ	Carretera A Viacha Km. 1 (Primera Curva) No.52 Ciudad De El Alto - Dpto De La Paz
<b>11</b>	ESTACIÓN DE SERVICIOS LOZA	EL ALTO	LA PAZ	Avenida Bolivia-Zona San Luis Ciudad De El Alto
<b>12</b>	ESTACIÓN DE SERVICIO ZOFRI	EL ALTO	LA PAZ	Av. 6 De Marzo Km. 5 - Zona Rosas Pampa
<b>13</b>	ESTACIÓN DE SERVICIO 6 DE MARZO	EL ALTO	LA PAZ	Av. 6 De Marzo No. 777
<b>14</b>	ESTACIÓN DE SERVICIO LAREDO S.R.L	EL ALTO	LA PAZ	Av. 6 De Marzo No. 1962 - Ciudad De El Alto
<b>15</b>	ESTACIÓN DE	EL ALTO	LA PAZ	Av. 6 De Marzo N° 500

N°	EMPRESA	CIUDAD	DEPARTAMENTO	DIRECCIÓN
	SERVICIO ZURSIL S.R.L.- TARAPACA			
16	ESTACIÓN DE SERVICIO YUPANQUI	EL ALTO	LA PAZ	Calle Ingavi Esq. Av. Chacaltaya No. 60 Ciudad De El Alto
17	ESTACIÓN DE SERVICIO LUCAS YUPANQUI	EL ALTO	LA PAZ	Plaza Juana Azurduy De Padilla - Villa Dolores - Ciudad De El Alto
18	ESTACIÓN DE SERVICIO CORTEZ & CORTEZ S.R.L.	EL ALTO	LA PAZ	Av. Juan Pablo II No. 4444 - Ciudad De El Alto
19	ESTACIÓN DE SERVICIO LOZA DE ORO	EL ALTO	LA PAZ	Carretera El Alto - Desaguadero Km. 78 - Comunidad De Yanari
20	ESTACIÓN DE SERVICIO CRISTO REDENTOR	EL ALTO	LA PAZ	Av. 6 De Marzo Esq. Calle Riosinho - Ciudad De El Alto
21	JUAN PABLO II	EL ALTO	LA PAZ	Av. Juan Pablo II No. 135 Entre Calles 17 Y 21, Z. Villa Tunari - Ciudad De El Alto
22	ESTACIÓN DE SERVICIO CUENTAS SAN PABLO II S.R.L	EL ALTO	LA PAZ	Av. Panamericana No. 448 esq. Circunvalación Ciudad De El Alto
23	CRISTO REY	EL ALTO	LA PAZ	Av. Juan Pablo II Esq. Calle Lisboa - Ciudad De El Alto
24	DRAGON DE ORO	EL ALTO	LA PAZ	Av. Cívica Esq. Calle 14 - Villa Tejada Rectangular, Ciudad De El Alto
25	CANDELARIA LTDA.	EL ALTO	LA PAZ	Av. 6 De Marzo - Cruce Achocalla, Ciudad De El

N°	EMPRESA	CIUDAD	DEPARTAMENTO	DIRECCIÓN
				Alto
26	ESTACIÓN DE SERVICIO VARELA	EL ALTO	LA PAZ	Carretera El Alto - Tiahuanaco Km. 15 - Loc. De Laja

*Fuente: Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2020*

De la anterior tabla se puede observar que El Alto cuenta con 26 estaciones de servicio mismo que comercializan combustibles líquidos y se identifican como potenciales comercializadores de gasolina en mezcla de bioetanol, contribuyendo de esta manera a la reactivación económica desde el apoyo a los productores del tubérculo *Oxalis tuberosa* (oca) el cual se determina como la mejor muestra para el proceso por su composición química, cantidad de glucosa, origen y por las condiciones agroecológicas para su cultivo.

### **Origen de la Oca (*Oxalis tuberosum* Mol)**

Es uno de los cultivos nativos más antiguos de los Andes, estimándose que tiene alrededor de 8 000 años de antigüedad. Los arqueólogos han encontrado restos de sus tubérculos comestibles en tumbas prehispánicas, lejos de sus lugares de cultivo originales. En los Altos Andes sólo el cultivo de la papa es más importante que el de la oca, su agradable sabor y diversos colores brillantes resultan interesantes para impulsar su producción a gran escala con fines de exportación.

### **Valor nutritivo**

Es muy variable, pero igual o mejor que la papa. Su contenido de proteína es muy variable, pero generalmente está por encima del 9% en la materia seca y con buena proporción de aminoácidos esenciales. En la siguiente tabla, se muestra la composición química de la oca:

**TABLA 3-4:** Composición química de la Oxalis tuberosum (% materia grasa)

Nutriente	Contenidos
Energía (kcal)	381
Proteína	3,5 gramos
Grasa	0,7 gramos
Carbohidratos	90,0 gramos
Fibra	3,6 gramos
Cenizas	2,3 gramos

Fuente: King, 1988

En cuanto al contenido de vitaminas y minerales, si se compara con la papa se destaca un mayor contenido de calcio y vitamina C en la oca. En la siguiente tabla, se muestra el contenido de energía, minerales y vitaminas en oca (por 100 g de materia húmeda) (scielo.org.co, 2015)

En cuanto al contenido de vitaminas y minerales, si se compara con la papa se destaca un mayor contenido de calcio y vitamina C en la oca. En el Cuadro 2, se muestra el contenido de energía, minerales y vitaminas en oca (por 100 g de materia húmeda).

## Usos

El tubérculo de la oca, tiene los siguientes usos:

- Alimento: se consume el tubérculo. Una vez cosechado debe asolearse durante unos días para que se endulce.
- Medicinal: se le usa como emoliente, para el tabardillo y como astringente
- Forraje: especialmente para cerdos (se usa la planta entera).

La oca se prefiere en las zonas rurales, el consumo es mayor cuanto más periférica es la zona; se consume en diversas preparaciones hasta dos veces a la semana en épocas de cosecha. La oca tiene una preparación más diversificada que el melloco, en dependencia de si se utiliza al fresco o después de haberse asoleado/curado. Al fresco, recién cosechada, se utiliza para sopas, cortada como las papas y, al decir de algunas personas, tiene un gusto mejor que el de la papa. También se hace puré de ocas y envueltos como el “quimbolito” (la oca se muele cruda y después se sazona con dulce y se envuelve en

hojas de achira o mijao, y se cocina como las humitas). El proceso de asoleo de la oca no tiene un número de días determinado; recién cosechada, presenta un color claro que va poniéndose amarilla tras cada día de sol.

Las ocas se pueden asolear de dos modos: directamente extendidas sobre el suelo al sol o colgadas sobre una sogá, amarradas entre dos de ellas. En ocasiones, se escogen las ocas pequeñas para locro (y comidas de sal) y las grandes para endulzar. Ya endulzadas por el asoleo, las ocas se comen preferentemente con dulce (miel de panela) o en coladas. La colada de oca tiene un gusto y un color muy semejantes a los del zapallo. En Carchi la gente expresa un especial gusto por la mezcla de ocas con leche.

Con frecuencia, la oca, en lugar de asolearse, es dejada en el “soberado” para que se seque con el humo de los fogones. Después de un tiempo de someterse a este proceso aproximadamente un mes), la oca pierde la cáscara con suma facilidad y adquiere muy buen gusto, por lo que se prefiere para algunas preparaciones.

- **Condiciones Agroecológicas Para El Cultivo**

### ***Suelos y Altitud***

El límite de altitud con mayor concentración de parcelas y mayor producción de oca, se encuentra en la franja comprendida entre los 3 000 y 3 800 metros sobre el nivel del mar. En general, la oca se desarrolla bien en suelos francos, profundos y con un buen contenido de materia orgánica, para obtener mejores rendimientos. Se ha reportado que la tolerancia de acidez del cultivo de la oca, varía de 5.3 a 7.8 de pH.

### ***Clima***

- **Temperatura**

La oca es resistente a bajas temperaturas y prospera en climas fríos moderados, las heladas destruyen su follaje. Temperaturas por encima de los 28° C destruyen la planta.

- **Luminosidad**

La oca, como la mayor parte de los tubérculos andinos requiere de períodos diurnos menores de 12 horas para iniciar la formación del tubérculo. En la mayoría de los casos los días más largos producen solamente el desarrollo del follaje.

- Precipitación

En los Andes, el cultivo de la oca crece en lugares donde las lluvias varían de 570 a 2150 mm. distribuidas uniformemente a través de las etapas de crecimiento.

- Vientos

Estos cultivos responden altamente a las labores agrícolas en términos de fertilización, aporcado, escarda y sobre todo al control de plagas y enfermedades, incrementándose su producción hasta niveles de 40-50 t/ha, comparables a los más elevados rendimientos de papa

### **Variedades**

Los campesinos identifican las siguientes variedades: chaucha, blanca, amarilla, rosada, roja, cañareja y leona. Las ocas blancas y amarillas presentan diferenciaciones entre las chauchas o precoces y las tardías, Las ocas chauchas tienen un ciclo de cultivo hasta de cinco meses y presentan un mayor tamaño que sus pares tardíos. Las ocas chauchas blancas con formas redondeadas se conocen también como “ocas leonas” Entre las ocas amarillas se presenta una clase especial que es la llamada “cañareja” cuyos tubérculos son bastante gruesos y se considera las más rendidora. Las ocas rojas tienen una tonalidad marcada, al contrario de las variedades combinadas que presentan o bien ojos de color blanco en la carne roja, o manchitas de color rosado sobre la carne blanca o amarilla. (UNOCANC, 2000)

#### 4. CAPITULO IV: RESULTADOS

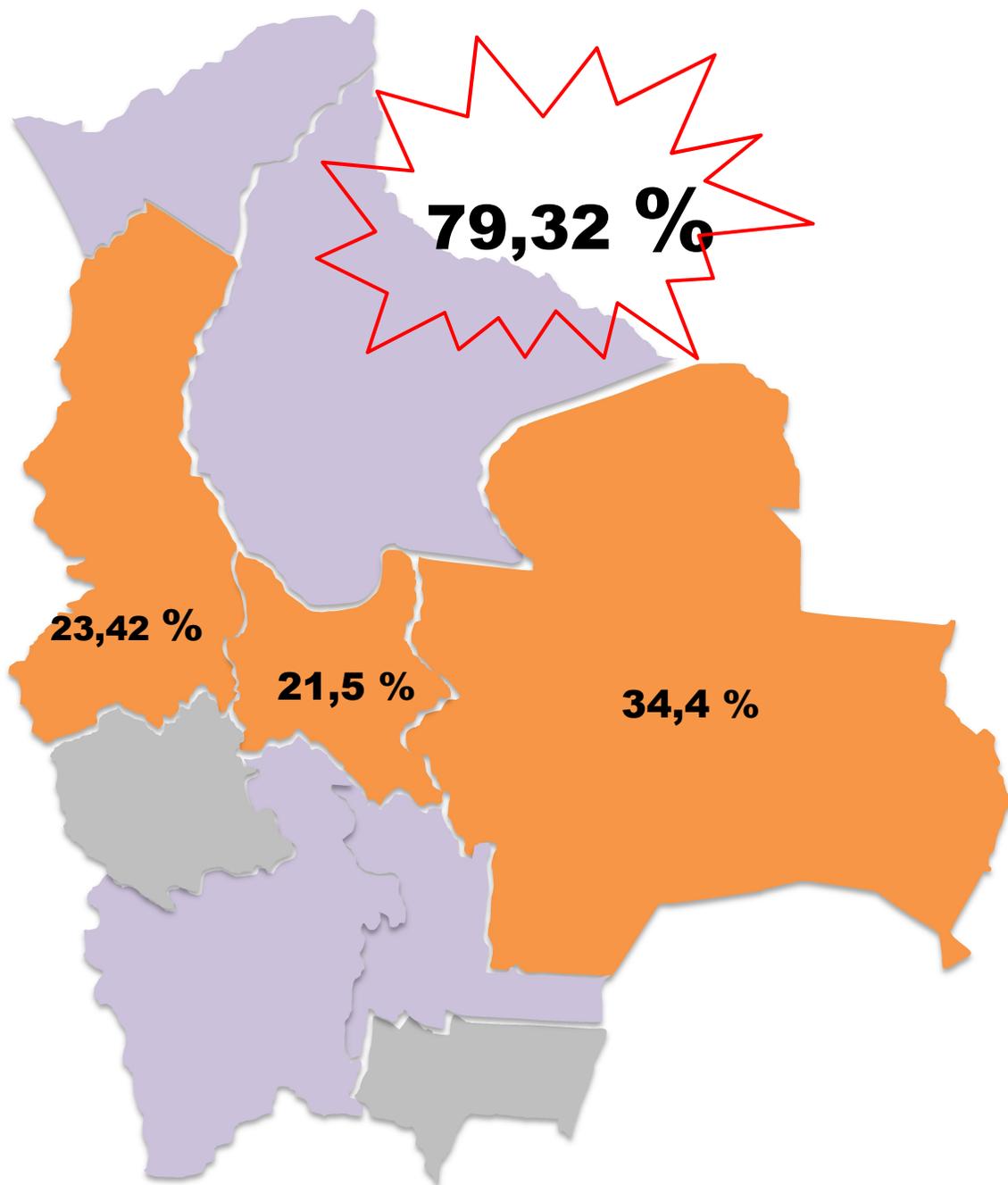
Dentro de las líneas aprobadas de investigación de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica aprobadas se rescata la valorización energética de residuos urbanos mediante la petroquímica avanzada y de combustibles alternativos y diversificación de la matriz energética, el presente proyecto está alineado dentro de esas líneas de investigación aprobadas el 2021.

Para el desarrollo de éste proyecto de investigación en concreto, se desarrolló un análisis del sector energético, en particular, con enfoque en el área de biocombustibles aterrizando en lo que respecta al bioetanol que sería aditivo de la gasolina, para entender su potencial biocombustible se debería cuantificar la proporción de gasolina que se utiliza, además se abarcó un estudio para determinar la utilización de combustibles en el parque automotor nacional, el uso de las variedades de etanol utilizables en territorio boliviano e identificar en potenciales consumidores la utilización de bioetanol. Los resultados de la investigación, se describen a continuación producto de la investigación exploratoria, experimental, descriptiva y comparativa.

##### 4.1. ESTUDIO SOBRE EL PARQUE AUTOMOTOR NACIONAL

A nivel nacional se ve a continuación una alta participación del parque automotor en el eje central siendo un 79%, del cual 23% corresponde al Departamento de La Paz

**FIGURA 4-1:** Participación porcentual del parque automotor por departamento (Bolivia, 2020)



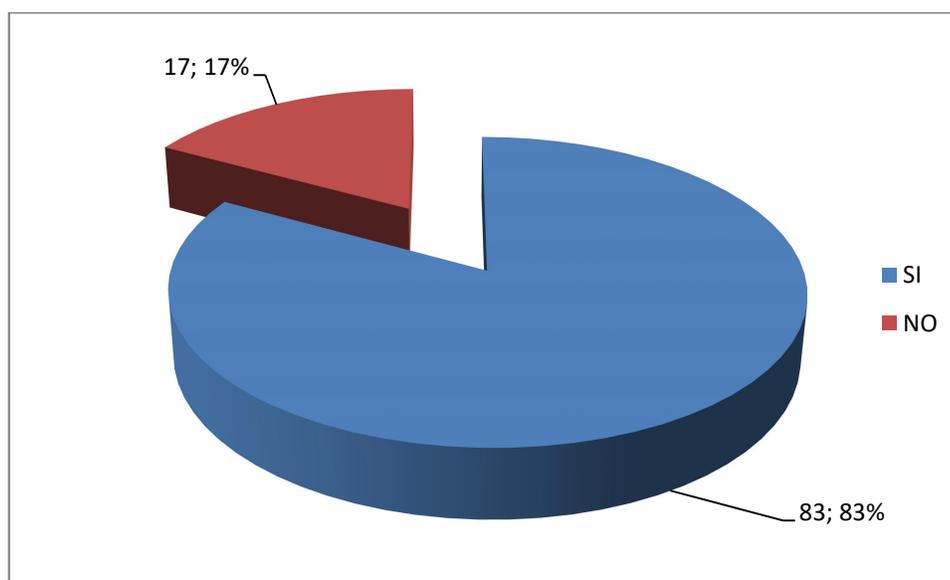
Fuente: Elaborado en base a información del Instituto Nacional de Estadística (2020)

#### 4.2. ESTUDIO SOBRE USO DE COMBUSTIBLES EN LA CIUDAD DE EL ALTO

El objetivo del estudio era identificar los combustibles conocidos por los encuestados en base a información primaria.

Para el mismo se consideraron tres alcances, el alcance geográfico, siendo la ciudad de El Alto en los puntos de la Extranca, el alcance temporal: la recepción de información se realizó desde el 22/07/22 al 14/08/22 y la cantidad de encuestados, con un total de 87 usuarios del sistema público de la Ciudad de El Alto.

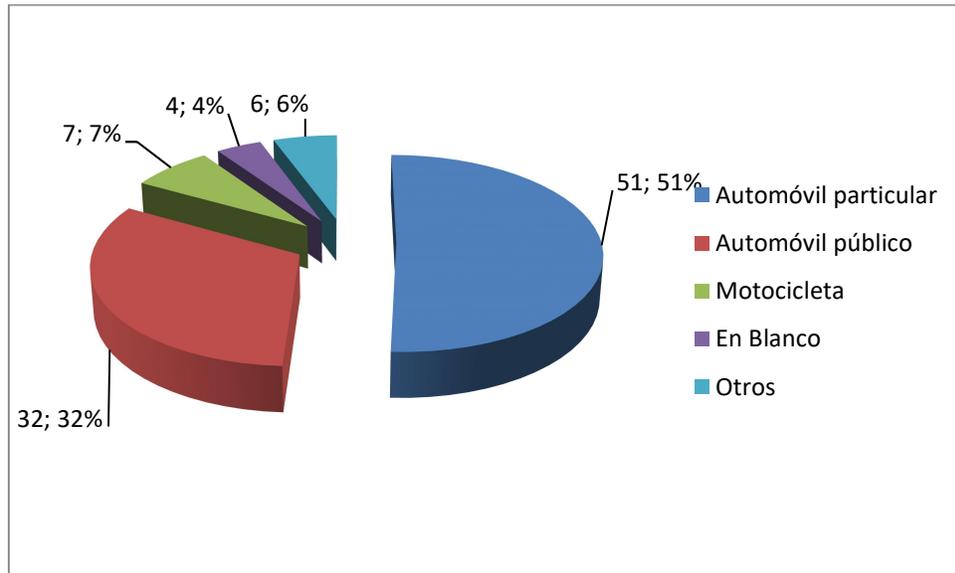
**FIGURA 4-2: Proporción de encuestados que tienen o no vehículo de transporte en encuesta del proyecto (2022)**



*Fuente: Elaboración propia en base a la información primaria recolectada por estudio de caso. (2022)*

Un alto porcentaje, del 83,83% asevera contar con vehículo de transporte de los encuestados.

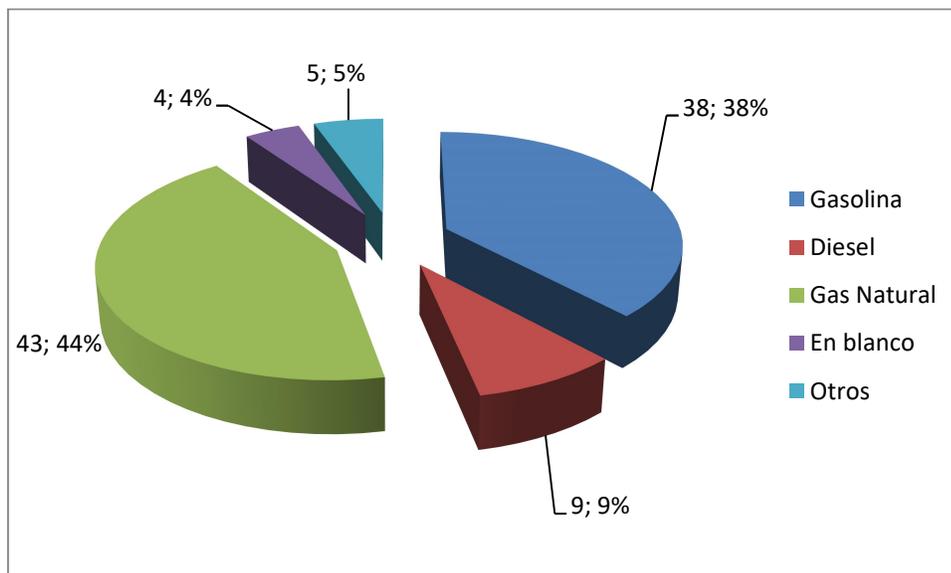
**FIGURA 4-3: Proporción en la tipología de vehículo en encuesta del proyecto (2022)**



*Fuente: Elaboración propia en base a la información primaria recolectada por estudio de caso. (2022)*

En la Figura, se observa que un 51, 51% cuenta con automóvil particular, esto se refleja en correlación con fuentes secundarias analizadas como el incremento del parque automotor en la ciudad de El Alto por ejemplo.

**FIGURA 4-4: Proporción en la tipología de combustible utilizado en encuesta del proyecto (2022)**



*Fuente: Elaboración propia en base a la información primaria recolectada por estudio de caso. (2022)*

En la ciudad de El Alto para motorizados del sector público se hace uso de Gas Natural Vehicular en mayor proporción seguido por la gasolina principalmente como combustible en el parque automotor encuestado. Por lo tanto es potencial la producción del aditivo del bioetanol en la Ciudad de El Alto.

#### **4.3. SESIONES EXPERIMENTALES DE LABORATORIO**

Se realizó la producción de bioetanol a partir de residuos orgánicos de la oca, a partir de sesiones experimentales para la recolección de materia prima y primeras experimentaciones de obtención de bioetanol. A continuación se mostrará ilustrativamente cómo se procedió en las sesiones de laboratorio para obtener los resultados cuantitativos.

**FIGURA 4-5: Identificación de nuestra materia prima a nivel experimental**



*Fuente: Foto tomada por integrantes del equipo de investigación en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica (2022).*

Se trabajó con la variante de la oxalis tuberosa para su variedad en Kellu Kamusa para realizar las nueve pruebas en laboratorio. Posteriormente de la selección de materia prima se procedía a la preparación de la versión pulverizada que de acuerdo a los niveles de glucosa podemos trabajar mejor y se la procedió a preparar para el secado, como se muestra a continuación.

**FIGURA 4-6: Preparación de la materia prima previo a secado**



*Fuente: Foto tomada por integrantes del equipo de investigación en la ciudad de El Alto (2022).*

**FIGURA 4-7: Secado de la materia prima previa a la trituración**



*Fuente: Foto tomada por integrantes del equipo de investigación en la ciudad de El Alto (2022).*

**FIGURA 4-8: Recolección de las fases de secado y gránulos para el pulverizado de la Oxalis tuberosa**



*Fuente: Foto tomada por integrantes del equipo de investigación en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica (2022).*

Luego en sesiones de laboratorio lo que se determinaron es el control de variables de las muestras, mismos resultados se encuentran en el Anexo 2-3.

**FIGURA 4-9: Filtración para preparación de mezcla a destilación**



*Fuente: Foto tomada por integrantes del equipo de investigación en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica (2022).*

**FIGURA 4-10: Disposición del equipo de destilación por condensación del bioetanol a partir del producto de la hidrólisis y fermentación de la Oxalis tuberosa pulverizada**



*Fuente: Foto tomada por integrantes del equipo de investigación en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica (2022).*

**FIGURA 4-11: Medición de parámetros organolépticos de las muestras obtenidas de bioetanol en base a pulverizado de la Oxalis tuberosa**



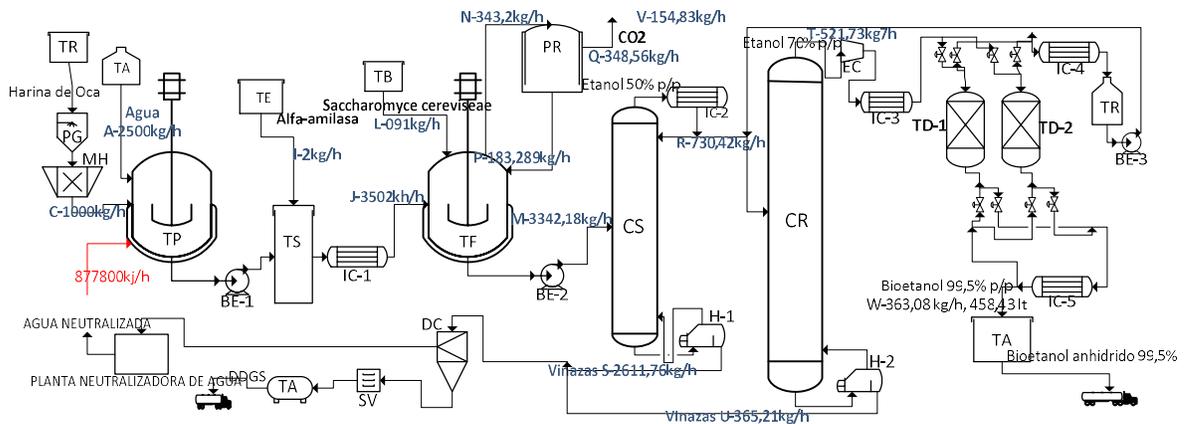
*Fuente: Foto tomada por integrantes del equipo de investigación en el laboratorio de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica (2022).*

**FIGURA 4-12: Presentación del proyecto en Feria Científica del Área de Ciencia y Tecnología**



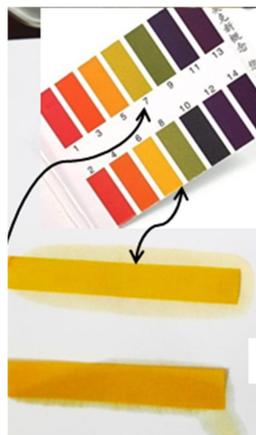
*Fuente: Foto tomada en inmediaciones de la Feria Científica del Área de Ciencia y Tecnología en representación de la Carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica (2022).*

**FIGURA 4-13: Diagrama de flujo general con balance de materia y energía**



*Fuente: Esquema de la simulación por balance de materia y energía (2022).*

**FIGURA 4-14: Medición de PH de las muestras obtenidas de bioetanol en base a pulverizado de la Oxalis tuberosa**



*Fuente: Foto tomada por integrantes del equipo de investigación (2022).*

**TABLA 4-1: Resultados comparativos de los registros e indicadores de las muestras destiladas**

<b>Pruebas de Laboratorio para muestras que fueron efectivas en combustión</b>	<b>Grado de alcohol °GL</b>	<b>Densidad relativa a 20 °C</b>
<b>Primera prueba</b>	32	0,97
<b>Segunda prueba</b>	64	0,90
<b>Última prueba</b>	89	0,84

*Fuente: Elaboración propia en base a datos registrados y cálculos durante sesiones de laboratorio de muestras, 2022*

Adicionalmente resultados del registro de variables se compilaron las propiedades de volumen, masa, densidad de la solución, temperatura de destilación, PH, masa, volumen , densidad, efectividad de combustión del bioetanol obtenido, eficiencia del proceso y

tiempo de fermentación para las nueve muestras sometidas en proceso mismas que están en el Anexo 2-3.

## 5. CAPITULO V: CONCLUSIONES

Para considerar en términos de producción el balance másico a partir de sesiones experimentales y seguimiento se posee en promedio un 69% de total contenido de la Oxalis tuberosa pulverizada, más de esto se sabe que el almidón contiene alrededor del 19 % de una fracción soluble en agua llamado amilosa y el 81% de una solución insoluble conocida como amilopectina ambas formas por formado por  $\alpha$ -D-glucopiranososa.

La utilización de residuos de la oxalis tuberosa demuestran ser un potencial para la economía circular y producción de bioetanol con potencial de ser aditivo de la gasolina.

El flujo simulado y elaborado se encuentra en el diagrama de flujo general con balance de materia y energía, además el proceso es experimentado en el laboratorio de química en la carrera de Ingeniería de Gas y Petroquímica para las nueve muestras en sus variantes definidas.

Se inicia desde una porcentual promedio de 70% de almidón y un tiempo de hidrólisis enzimática de 8 a 11 horas y un tiempo de fermentación de 48 a 72 horas. Además se obtuvo un rendimiento de 51,3% de producción de etanol a partir de 70% de Oxalis tuberosa pulverizada que contiene almidón.

Con respecto a la formulación de la hipótesis para el presente proyecto se determina que el aprovechamiento de residuos orgánicos de los tubérculos, particularmente de la Oxalis tuberosa por sus niveles de glucosa en su estado pulverizado en la ciudad de El Alto es una alternativa para la producción de bioetanol para ser una propuesta energética dentro de los biocombustibles líquidos.

## 6. CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

En el área de investigación de cultivos se recomienda estudios de investigación respecto al mejoramiento genético de la oca (*Oxalis tuberosa*) para su variedad en Kellu Kamusa que fue el tubérculo utilizado en la investigación, con la finalidad de incrementar su composición de almidón y así para aumentar su rendimiento en bioetanol en el caso de optar por la producción a escala. También sería enriquecedor realizar la investigación para otras tipologías de tubérculos y extenderlo a nivel comparativo.

Se recomienda que el proceso de producción tenga control automatizado, además poseer un adecuado control en las condiciones operacionales en el proceso, ya que el flujo realizado es a base de la *Oxalis tuberosa* pulverizada.

Para futuros trabajos en el proceso de hidrólisis controlar estrictamente la temperatura, debido a que si no lo hacemos correctamente el almidón se puede romper sus puentes de hidrógeno, para el proceso de fermentación se recomienda controlar la temperatura ya que el *Saccharomyces cerevisiae* tiene su óptimo de intensidad fermentativa y dejar la solución bajo tiempos más prolongados y utilizar enzimas puras de composición alta, extraídas directamente del fermentado de la harina de oca para obtener una mayor cantidad de etanol.

Para tener un grado alcohólico de alcohol más alto se recomienda cálculos precisos en la construcción de la planta piloto en caso de implementarse controlando la temperatura en diferentes alturas para su correcta localización.



BIOMETRANS. (2018). BIOMETRANS. En F. CARTIF, *BIOMETRANS* (págs. 2-10).

CYTED.

BNDES y CGEE Brasil. (2008). *Bioetanol de caña de azúcar : energía para el desarrollo sostenible*. Rio de Janeiro.

BNDES, & CGEE. (2008). *Bioetanol de caña de azúcar : energía para el desarrollo*. Rio de Janeiro.

*Bolsa de Comercio de Rosario*. (13 de Septiembre de 2019). Obtenido de

<https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/bioetanol-con>

Bravo, P. (8 de Abril de 2020). Obtenido de Cnnespanol: <http://www.cnnspanol.cnn.com>

Capitales, R. (06 de 09 de 2016). <https://correodelsur.com/>. Recuperado el 24 de Agosto de 2022, de <https://correodelsur.com/>:

[https://correodelsur.com/capitales/20160906\\_estudio-revela-baja-calidad-de-gasolina-y-pfb-lo-desmiente.html#:~:text=de%20la%20carrera-](https://correodelsur.com/capitales/20160906_estudio-revela-baja-calidad-de-gasolina-y-pfb-lo-desmiente.html#:~:text=de%20la%20carrera-)

,El%20Reglamento%20de%20Calidad%20de%20Carburantes%2C%20del%20Decreto%20Supremo%201499,de%20servicio%20de%20la%20capital.

Carlos Ariel Cardona Alzate, P. D. (noviembre de 2004). <https://www.redalyc.org>.

Recuperado el 17 de Mayo de 2022, de <https://www.redalyc.org>:

<https://www.redalyc.org/pdf/2311/231117829008.pdf>

Carlos José Boluda, M. M. (16 de Diciembre de 2019). *doi.org*. Recuperado el 16 de Mayo de 2022, de doi.org: <https://doi.org/10.22206/cyap.2019.v2i2.pp51-79>

Cazorla, E. (2012). <https://repositorio.umsa.bo>. Recuperado el 17 de Mayo de 2022, de <https://repositorio.umsa.bo>:

[https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/2613/T-](https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/2613/T-1384.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

[1384.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/2613/T-1384.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- COVECA, C. V. (2010). Mexico.
- Ertola, O. R. (2003). *Microbiología industrial*. Madrid: McGrawHill.
- ethanolresponse. (20 de Octubre de 2020). *ethanolresponse*. Obtenido de ethanolresponse: <https://www.ethanolresponse.com/wp-content/uploads/2017/08/Gu%C3%ADa-del-Participante-Modulo-3-FINAL-2017.pdf>
- Falasca, S. (10 de Agosto de 2017). *UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CENTRO DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES*. Obtenido de <https://www.unicen.edu.ar/content/situaci%C3%B3n-actual-de-los-biocombustibles-en-argentina>
- Fernández, L. (2006). *Análisis económico de precios del bioetanol para mezcla con gasolinas*. CEPAL: Convenio CEPAL- Gobierno de Italia.
- Garzón Castaño, S. (2009). "Estudio comparativo para la producción de etanol entre *Saccharomyces cerevisiae silvestre*, *Saccharomyces cerevisiae ATCC 9763* y *Candida utilis ATCC 9950*. Tesis. Universidad Tecnológica de Colombia". Colombia.
- Giampietro, M. (2009). The biofuel delusion. En M. Giampietro, *The biofuel delusion*. London : Earthscan research.
- GlobalPetrolPrices. (1 de Junio de 2020). *Diesel prices: GlobalPetrolPrices*. Obtenido de GlobalPetrolPrices: <http://es.globalpetrolprices.com>
- GlobalPetrolPrices. (1 de Junio de 2020). *Gasoline prices: GlobalPetrolPrices*. Obtenido de GlobalPetrolPrices: <http://es.globalpetrolprices.com>
- Gómez, J. M. (Junio de 2016). <https://www.sciencedirect.com>. Recuperado el 1 de Junio de 2022, de <https://www.sciencedirect.com>: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0123592316300018>
- Gracia, C. (2020). *Biocombustibles: ¿energía o alimento*.

Hansen. (2004).

Hidrocarburos, A. N. (2014). *anh.gob.bo*. Obtenido de *anh.gob.bo*:

<https://www.anh.gob.bo/InsideFiles/Referencia/DafExep/ANH-14-2014.pdf>

Hidrocarburos, A. N. (s.f.). *anh.gob.bo*. Obtenido de *anh.gob.bo*:

<https://www.anh.gob.bo/estaciones/>

IBCE. (2019). *IBCE.org*. Recuperado el 15 de 03 de 2020, de <https://ibce.org.bo/>

Instituto Nacional de Estadística, I. (2017). *Instituto Nacional de Estadística*. Obtenido de

Instituto Nacional de Estadística: <https://www.ine.gob.bo>

IRENA. (2020). The post-COVID recovery: An agenda for resilience, development and equality, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. *Global Renewables Outlook: Energy Transformation 2050*.

Jiménez Bustamante, J. M. (2014). "*Aprovechamiento de residuos celulósicos de piña para la producción de carbón activado*". Tesis. Universidad Veracruzana. Facultad de Ciencias Químicas. Xalapa. México.

Kronen. (2017). *AGROINDUSTRIA*. Obtenido de *AGROINDUSTRIA*.

L. Alexis Alonso Gómez, L. A. (Marzo de 2018). Materias primas usadas para la producción de etanol de cuatro generaciones: retos y oportunidades. *Agrociencia vol.52 no.7 Texcoco oct./nov. 2018*.

Manzaneda, L. (30 de Enero de 2019). *Economía: Piña boliviana lleva 4 años sin poder retornar al mercado externo*. Obtenido de LOS TIEMPOS:

<http://www.lostiempos.com>

Mathews, C. K. (2004). *Bioquímica*. España: Pearson.

Mecanicaautomotrizdgm. (1 de Octubre de 2017). *Diferencias Entre Carburación E Inyección*. Obtenido de *mecanicaautomotrizdgm*:

<http://www.mecanicaautomotrizdgm.com>

- Monroy, A. N. (2017). Generación de bioetanol como combustible alternativo a partir de compuestos lignocelulósicos a nivel laboratorio. *Revista de Energía Química y Física* 2017, 49-57.
- Monroy, A. N. (10 de Noviembre de 2017). Generación de bioetanol como combustible alternativo a partir de compuestos. *Revista de Energía Química y Física*, 52-53.
- Motorpasion México. (07 de Octubre de 2019). <https://www.motorpasion.com.mx/>.  
Recuperado el 17 de Agosto de 2022, de <https://www.motorpasion.com.mx/>:  
<https://www.motorpasion.com.mx/tecnologia/etanol-mexico>
- Murray, W. D. (1996). "Bioconversion of forest products industry waste cellulosic to fuel ethanol: a review". Bioresour. Technol.
- Noticias sobre energías renovables*. (4 de Septiembre de 2017). Obtenido de <https://biodiesel.com.ar/11739/conoce-como-es-la-industria-que-produce-biodiesel-en-argentina>
- Novozymes, & BBI, I. (2002). Fuel ethanol production: technological and environmental improvements.
- Nuria. (21 de Mayo de 2018). [cgmservicios.es](https://www.cgmservicios.es). Obtenido de [cgmservicios.es](https://www.cgmservicios.es):  
<https://www.cgmservicios.es/principales-caracteristicas-de-los-camiones-de-carga-pesadas/#:~:text=Como%20mencionamos%20al%20comenzar%20el,el%20mejor%20rendimiento%20utilizando%20la>
- Olivares Pérez, R. J. (2003). "Influencia de diferentes dosis de productos inductores de la floración (carburo de calcio y Ethrell), en dos variedades de piña (*Ananas comosus* (L) Merrill) sobre la calidad poscosecha". Tesis profesional. Universidad Nacional .
- Ortiz, M. G., Moreno, G. H., Gómez, G. M., González, A., & Torres de Loera, C. A. (2017). *REPORTE DE INTELIGENCIA TECNOLÓGICA "BIOETANOL"*. México.
- Ough, A. M. (2001). *Análisis de vinos y mostos*. España: Acribia. Zaragoza.

- Palma, C. (2016). *Ensayo preliminar de sustancias organicas*. Veracruz: SEP Institutos Tecnológicos.
- Pasa Duarte, V. M. (2010). Especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas (E-6) y la infraestructura para su manejo en México. *Especificaciones técnicas para el etanol y sus mezclas (E-6) y la infraestructura para su manejo en México*, 50-60.
- Plaza, D. (17 de Mayo de 2022). *Motor.es*. Recuperado el 16 de Mayo de 2022, de Motor.es: <https://www.motor.es/que-es/octano-octanaje-cetanaje>
- Plaza, D. (s.f.). *motor.es*. Obtenido de motor.es: <https://www.motor.es/que-es/octano-octanaje-cetanaje#:~:text=Para%20calcular%20el%20%C3%ADndice%20de,contrario%20que%20las%20i%2Dparafinas>.
- Portal Caña*. (2020). Recuperado el 15 de Marzo de 2020, de <https://www.portalcania.com.ar/noticia/brasil-el-etanol-ya-cuesta-el-91-del-precio-de-la-gasolina-y-pierde-competitividad/>
- Quimica.unam. (Octubre de 2020). *quimica.unam.mx/wp-content/uploads*. Obtenido de quimica.unam.mx: <https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2016/12/12etanol.pdf>
- Ramirez, K. (25 de Septiembre de 2019). *noticias.masrefacciones.mx*. Obtenido de noticias.masrefacciones.mx: <https://noticias.masrefacciones.mx/2019/10/25/la-importancia-del-octanaje/#:~:text=El%20octanaje%20es%20una%20medida,y%20explosiones%20en%20los%20motores>.
- Rengel Veizaga, E. (2016). *COMENCEMOS A INVESTIGAR*. La Paz.
- Renovables Verdes*. (2020). Recuperado el 15 de Marzo de 2020, de <https://www.renovablesverdes.com/brasil-y-los-biocombustibles/>

- Sampaio, M. d. (Junio de 2012). *http://www.scielo.org.co*. Recuperado el 17 de Mayo de 2022, de *http://www.scielo.org.co*:  
*http://www.scielo.org.co/pdf/rcdg/v21n1/v21n1a11.pdf*
- Saval, S. (2012). *Aprovechamiento de residuos agroindustriales*. Obtenido de Aprovechamiento de residuos agroindustriales : *http://academia.edu.com*
- Secretaria de Energía*. (2018). Obtenido de *https://glp.se.gob.ar/biocombustible/reporte\_precios.php*
- Secretaria de la energía de la nación Argentina*. (Agosto de 2022). *https://glp.se.gob.ar*. Recuperado el 17 de Mayo de 2022, de *https://glp.se.gob.ar*:  
*https://glp.se.gob.ar/biocombustible/reporte\_precios\_bioetanol.php*
- Secretaria de la Energía de la Nación Argentina*. (Agosto de 2022). *https://glp.se.gob.ar*. Recuperado el 17 de Mayo de 2022, de *https://glp.se.gob.ar*:  
*https://glp.se.gob.ar/biocombustible/reporte\_precios\_bioetanol.php*
- Serrano-Ruiz, J. C., & Luque, R. (2011). Biocombustibles líquidos: procesos y tecnologías. *Química y Medio Ambiente*, 386-387.
- sutran.gob.pe*. (s.f.). Obtenido de *sutran.gob.pe*: *https://www.sutran.gob.pe/wp-content/uploads/2020/06/Reglamento-Nacional-de-Inspecciones-T%C3%A9cnicas-Vehiculares-%E2%80%93DS-N%C2%BA-025-2008-MTC.pdf*
- Torres Santa Cruz, E. M. (2005). CARACTERIZACIÓN DE DIEZ VARIEDADES DE OXALIS TUBEROSA MOLINA (OCA) Y ALTERNATIVAS DE INDUSTRIALIZACIÓN. *Revista Investigación & Desarrollo*.
- Worldmeter. (27 de Septiembre de 2020). Recuperado el 27 de Septiembre de 2020, de *https://www.worldometers.info/coronavirus/*

Zoilorios. (17 de Septiembre de 2018). *zoilorios.com*. Recuperado el 16 de Mayo de 2022,  
de zoilorios.com: <https://www.zoilorios.com/noticias/la-calidad-de-la-gasolina-como-se-mide-tecnicas-y-procesos-para-mejorarla>

**ANEXOS**

# ANEXO 1. REGISTRO DE SENAPI



**DIRECCIÓN DE DERECHO DE AUTOR  
Y DERECHOS CONEXOS**  
**RESOLUCIÓN ADMINISTRATIVA NRO. 1-2966/2022**  
**La Paz, 13 de Diciembre del 2022**

**VISTOS:**

La solicitud de Inscripción de Derecho de Autor presentada en fecha **8 de Diciembre del 2022**, por **NICOLÁS QUENTA TICONA**, con C.I. N° **2342704 LP**, con número de trámite **DA 1382/2022**, señala la pretensión de inscripción de la Compilación de Obras Escritas titulada: **"PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN UPEA GESTIÓN 2022 - INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA"**, conformada por las Obras Escritas: **"PRODUCCIÓN DE ANTICORROSIVO A PARTIR DE RESIDUOS DE CÍTRICOS PARA LA ALIMENTACIÓN DE REDES PRIMARIAS DE GAS NATURAL EN LA CIUDAD DE EL ALTO"**, **"OBTENCIÓN DE ÁCIDO TERFTÁLICO POR SOLVOLISIS A PARTIR DE POLIETILENO DE TERFTALATO EN LA CIUDAD DE EL ALTO"**, **"PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS DE TUBÉRCULOS PARA AUMENTAR EL OCTANAJE DE LA GASOLINA EN LA CIUDAD DE EL ALTO"** y **"PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS POR EL PROCESO DE PIRÓLISIS A PARTIR DE MEZCLAS POLIMÉRICAS POST-CONSUMO EN LA CIUDAD DE EL ALTO"**, cuyos datos y antecedentes se encuentran adjuntos y expresados en los Formularios de Solicitud, documentación que tiene la calidad de Declaración Jurada.

**CONSIDERANDO**

Que, en observación al Artículo 4º del Decreto Supremo N° 27938 modificado parcialmente por el Decreto Supremo N° 28152 el *"Servicio Nacional de Propiedad Intelectual SENAPI, administra en forma desconcentrada e integral el régimen de la Propiedad Intelectual en todos sus componentes, mediante una estricta observancia de los regímenes legales de la Propiedad Intelectual, de la vigilancia de su cumplimiento y de una efectiva protección de los derechos de exclusiva referidos a la propiedad industrial, al derecho de autor y derechos conexos; constituyéndose en la oficina nacional competente respecto de los tratados internacionales y acuerdos regionales suscritos y adheridos por el país, así como de las normas y regímenes comunes que en materia de Propiedad Intelectual se han adoptado en el marco del proceso andino de integración"*.

Que, el Artículo 16º del Decreto Supremo N° 27938 establece *"Como núcleo técnico y operativo del SENAPI funcionan las Direcciones Técnicas que son las encargadas de la evaluación y procesamiento de las solicitudes de derechos de propiedad intelectual, de conformidad a los distintos regímenes legales aplicables a cada área de gestión"*. En ese marco, la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos otorga registros con carácter declarativo sobre las obras del ingenio cualquiera que sea el género o forma de expresión, sin importar el mérito literario o artístico a través de la inscripción y la difusión, en cumplimiento a la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, Ley de Derecho de Autor N° 1322, Decreto Reglamentario N° 23907 y demás normativa vigente sobre la materia.

Que, la solicitud presentada cumple con: el Artículo 6º de la Ley N° 1322 de Derecho de Autor, el Artículo 26º inciso a) del Decreto Supremo N° 23907 Reglamento de la Ley de Derecho de Autor, y con el Artículo 4º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina.

**"2022 AÑO DE LA REVOLUCIÓN CULTURAL PARA LA DESPATRIARCALIZACIÓN:  
POR UNA VIDA LIBRE DE VIOLENCIA CONTRA LAS MUJERES"**



Oficina Central - La Paz  
Av. Montes, No 515,  
entre Esq. Uruguay y  
C. Batallón Illimani,  
Telfs.: 2115700 - 2119276  
2119251 Fax: 2115700

Oficina - Santa Cruz  
Av. Uruguay, Calle  
prolongación Quijarro,  
N° 29, Edif. Bicentenario.  
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba  
Calle Chuquisaca, N° 649,  
Piso 2, entre Antezana y Lanza  
zona Central - Moreste.  
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto  
Av. Juan Pablo II, N° 2560  
Edif. Multicentro El Ceibo  
Ltda. Piso 2, Of. 5B,  
zona 16 de Julio.  
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca  
Calle Kilómetro 7, N° 366  
casi esq. Urriolagoitia,  
zona Parque Bolívar.  
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija  
Calle Ingavi, N° 385  
entre Santa Cruz  
y Méndez, zona  
La Pampa.  
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro  
Calle 6 de Octubre,  
N° 5837, entre Ayacucho  
y Junín, Galería Central,  
Of. 14 (Ex Banco Fie).  
Telf.: 67201288

Oficina - Potosí  
Av. Villazón entre calles  
Wencesalo Alba y San Alberto,  
Edif. AM. Salinas N° 242,  
Primer Piso, Of. 17.



Que, de conformidad al Artículo 18º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor en concordancia con el Artículo 18º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina, referentes a la duración de los Derechos Patrimoniales, los mismos establecen que: *"la duración de la protección concedida por la presente ley será para toda la vida del autor y por 50 años después de su muerte, a favor de sus herederos, legatarios y cesionarios"*.

Que, se deja establecido en conformidad al Artículo 4º de la Ley Nº 1322 de Derecho de Autor, y Artículo 7º de la Decisión 351 Régimen Común sobre Derecho de Autor y Derechos Conexos de la Comunidad Andina que: *"...No son objeto de protección las ideas contenidas en las obras literarias, artísticas, o el contenido ideológico o técnico de las obras científicas ni su aprovechamiento industrial o comercial"*.

Que, el artículo 4, inciso e) de la ley 2341 de Procedimiento Administrativo, instituye que: *"... en la relación de los particulares con la Administración Pública, se presume el principio de buena fe. La confianza, la cooperación y la lealtad en la actuación de los servidores públicos y de los ciudadanos ..."*, por lo que se presume la buena fe de los administrados respecto a las solicitudes de registro y la declaración jurada respecto a la originalidad de la obra.

#### POR TANTO

El Director de Derecho de Autor y Derechos Conexos sin ingresar en mayores consideraciones de orden legal, en ejercicio de las atribuciones conferidas

#### RESUELVE:

**INSCRIBIR** en el Registro de Obras Escritas de la Dirección de Derecho de Autor y Derechos Conexos, la Compilación de Obras Escritas titulada: **"PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN UPEA GESTIÓN 2022 - INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA"**, conformada por:

- **"PRODUCCIÓN DE ANTICORROSIVO A PARTIR DE RESIDUOS DE CÍTRICOS PARA LA ALIMENTACIÓN DE REDES PRIMARIAS DE GAS NATURAL EN LA CIUDAD DE EL ALTO"**, a favor de los autores: **RUDDY SIMÓN MACHICADO OSCO** con C.I. Nº 4291617 LP, **ANA CAROLA CHURA BALTAZAR** con C.I. Nº 1769093 PD y **MERY MAMANI CALLIZAYA** con C.I. Nº 9129953 LP y como titular derivado: **INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA, UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO - UPEA**, con NIT Nº 122025022, representado legalmente por **CARLOS CONDORI TITIRICO**.
- **"OBTENCIÓN DE ÁCIDO TEREFTÁLICO POR SOLVOLISIS A PARTIR DE POLIETILENO DE TEREFTALATO EN LA CIUDAD DE EL ALTO"**, a favor de los autores: **STEFFI LAURA USQUIANO MARQUEZ** con C.I. Nº 6923742 LP, **HEBERT HILARI PACOSILLO** con C.I. Nº 9953502 LP y **RICHARD RUBEN LUQUE POMA** con C.I. Nº 9103862 LP y como titular derivado: **INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA, UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO - UPEA** con NIT Nº 122025022, representado legalmente por **CARLOS CONDORI TITIRICO**.
- **"PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE RESIDUOS DE TUBÉRCULOS PARA AUMENTAR EL OCTANAJE DE LA GASOLINA EN LA CIUDAD DE EL ALTO"**, a favor de los autores: **ELMA ROCIO CORDOVA QUISPE** con C.I. Nº 4287743 LP, **HECTOR RAMIRO MORALES FERNANDEZ** con C.I. Nº 8366229 LP y **LOLA ESTELA MALDONADO MAMANI** con C.I. Nº 7093609 LP y como titular

**"2022 AÑO DE LA REVOLUCIÓN CULTURAL PARA LA DESPATRIARCALIZACIÓN:  
POR UNA VIDA LIBRE DE VIOLENCIA CONTRA LAS MUJERES"**



Oficina Central - La Paz  
Av. Montes, No 515,  
entre Esq. Uruguay y  
C. Batallón Illimani,  
Telfs.: 2115700 - 2119276  
2119251 Fax: 2115700

Oficina - Santa Cruz  
Av. Uruguay, Calle  
prolongación Quijarro,  
Nº 29, Edif. Bicentenario.  
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba  
Calle Chuquisaca, Nº 649,  
Piso 2, entre Antezana y Lanza  
zona Central - Noreste.  
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto  
Av. Juan Pablo II, Nº 2560-  
Edif. Multicentro El Ceibo  
Ltda. Piso 2, Of. 5B,  
zona 16 de Julio.  
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca  
Calle Kilómetro 7, Nº 366  
casi esq. Urriolagoitia,  
zona Parque Bolívar.  
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija  
Calle Ingavi, Nº 385  
entre Santa Cruz  
y Méndez, zona  
La Pampa.  
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro  
Calle 6 de Octubre,  
Nº 5837, entre Ayacucho  
y Junín, Galería Central,  
Of. 14 (Ex Banco Fie).  
Telf.: 67201288

Oficina - Potosí  
Av. Villazón entre calles  
Wencesalo Alba y San Alberto,  
Edif. AM, Salinas Nº 262,  
Primer Piso, Of. 17.  
Telf.: 67201288

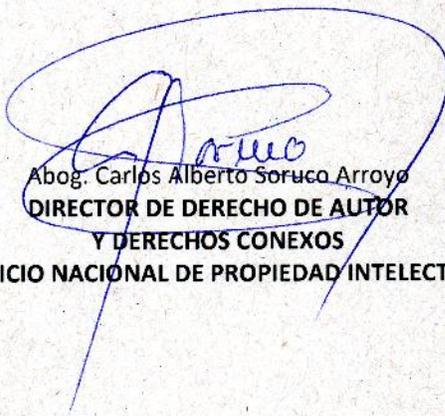


derivado: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA, UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO - UPEA, con NIT Nº 122025022, representado legalmente por CARLOS CONDORI TITIRICO.

- "PRODUCCIÓN DE COMBUSTIBLES ALTERNATIVOS POR EL PROCESO DE PIRÓLISIS A PARTIR DE MEZCLAS POLIMÉRICAS POST-CONSUMO EN LA CIUDAD DE EL ALTO", a favor de los autores: ANA LUISA PARI TICONA con C.I. Nº 6753005 LP, bajo el seudónimo ANA LUISA, ANA GABRIELA APAZA MAMANI con C.I. Nº 9910420 LP y NOEMI MAMANI CHOQUE con C.I. Nº 9250147 LP y como titular derivado: INSTITUTO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERÍA DE GAS Y PETROQUÍMICA, UNIVERSIDAD PUBLICA DE EL ALTO - UPEA con NIT Nº 122025022, representado legalmente por CARLOS CONDORI TITIRICO.

Quedando amparado su derecho conforme a Ley, salvando el mejor derecho que terceras personas pudieren demostrar.

Regístrese, Comuníquese y Archívese.



Abog. Carlos Alberto Soruco Arroyo  
**DIRECTOR DE DERECHO DE AUTOR  
Y DERECHOS CONEXOS**  
SERVICIO NACIONAL DE PROPIEDAD INTELECTUAL



CASA/osmb  
c.c.Arch.



Oficina Central - La Paz  
Av. Montes, No 515,  
entre Esq. Uruguay y  
C. Batallón Illimani,  
Telfs.: 2115700 - 2119276  
2119251 Fax: 2115700

Oficina - Santa Cruz  
Av. Uruguay, Calle  
prolongación Quijarro,  
Nº 29, Edif. Bicentenario.  
Telfs.: 3121752 - 72042936

Oficina - Cochabamba  
Calle Chuquisaca, Nº 649,  
Piso 2, entre Antezana y Lanza  
zona Central - Noreste.  
Telfs.: 4141403 - 72042957

Oficina - El Alto  
Av. Juan Pablo II, Nº 2560  
Edif. Multicentro El Ceibo,  
Ltda. Piso 2, Of. 5B,  
zona 16 de Julio.  
Telfs.: 2141001 - 72043029

Oficina - Chuquisaca  
Calle Kilómetro 7, Nº 366  
casi esq. Uriolagotia,  
zona Parque Bolívar.  
Telf.: 72005873

Oficina - Tarija  
Calle Ingavi, Nº 385  
entre Santa Cruz  
y Méndez, zona  
La Pampa.  
Telf.: 72015286

Oficina - Oruro  
Calle 6 de Octubre,  
Nº 5837, entre Ayacucho  
y Junín, Galería Central,  
Of. 14 (Ex Banco Fie).  
Telf.: 62201288

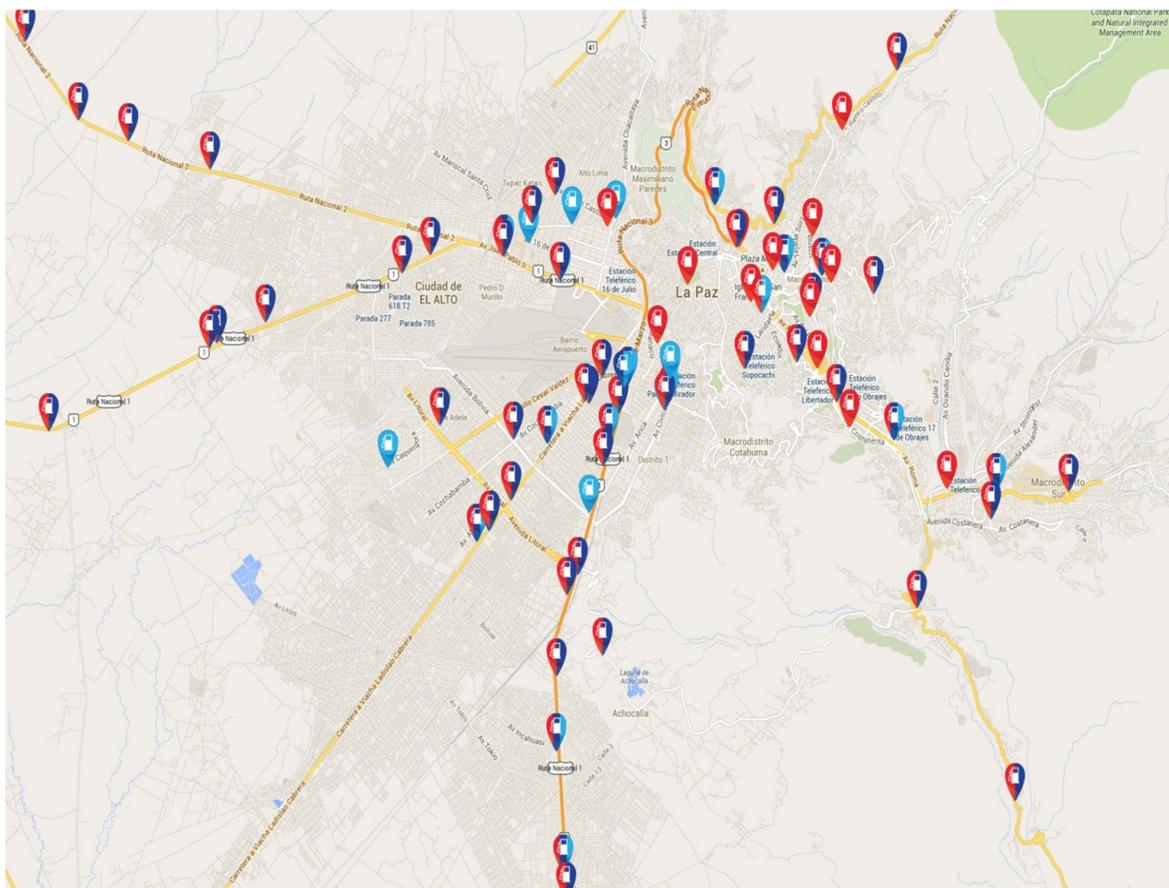
Oficina - Potosí  
Av. Villazón entre calles  
Wenceslao Alba y San Alberto,  
Edif. AM. Salinas Nº 242,  
Primer Piso, Of. 17.

**"2022 AÑO DE LA REVOLUCIÓN CULTURAL PARA LA DESPATRIARCALIZACIÓN:  
POR UNA VIDA LIBRE DE VIOLENCIA CONTRA LAS MUJERES"**



# ANEXO 2. ANEXOS DE LA INVESTIGACIÓN

## ANEXO 2-1: Mapa de localización de surtidores en la Ciudad de El Alto



*Fuente: Extraído de Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2022.*

## ANEXO 2-2: Precios mercado interno nacional (2010-2022)

PRECIOS MERCADO INTERNO DE LOS PRODUCTOS REGULADOS AL CONSUMIDOR FINAL												
GESTIÓN	GASOLINA ESPECIAL	GASOLINA PREMIUM	GASOLINA SÚPER 91	GASOLINA SÚPER ETANOL 92	GASOLINA DE AVIACIÓN	DIESEL OÍL	JET FUEL NACIONAL	GLP	KEROSENE	GAS OIL	GAS NATURAL VEHICULAR	
	Bs/L	Bs/L	Bs/L	Bs/L	Bs/L	Bs/L	Bs/L	Bs/kg	Bs/L	Bs/L	Bs/m3	
Dec-10	3,74	4,79			4,57	3,72	2,77	2,25	2,72	1,1	1,66	
Dec-11	3,74	4,79			4,57	3,72	2,77	2,25	2,72	1,1	1,66	
Dec-12	3,74	4,79			4,57	3,72	2,77	2,25	2,72	1,1	1,66	
Dec-13	3,74	4,79			4,57	3,72	2,77	2,25	2,72	1,1	1,66	
Dec-14	3,74	4,79			4,57	3,72	2,77	2,25	2,72	1,1	1,66	
Dec-15	3,74	4,79			4,57	3,72	2,77	2,25	2,72	1,1	1,66	
Dec-16	3,74	4,79			4,57	3,72	2,77	2,25	2,72	1,1	1,66	
Dec-17	3,74	4,79			4,57	3,72	2,77	2,25	2,72	0,1	1,66	
Dec-18	3,74	4,79	4,4	4,5	4,57	3,72	2,77	2,25	2,72	1,1	1,66	
Dec-19	3,74	4,79	4,4	4,5	4,57	3,72	2,77	2,25	2,72	1,1	1,66	
Dec-20	3,74	4,79	4,4	4,5	4,57	3,72	2,77	2,25	2,72	1,1	1,66	

*Fuente: Extraído de Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2010-2022*

### ANEXO 2-3: Resultados comparativos de los registros e indicadores de las muestras destiladas

N° muestra	Características	V solución		M solución	p solución	Temperatura	M residual	V residual	V etanol		M etanol	p solución	Eficiencia volumétrica	Rendimiento volumétrico	Eficiencia másica	Efectividad de combustión	De fermentación días	
		PH solución	ml	g	g/ml	Ebullición °C	g	ml	PH etanol	ml	gr	g/ml	%	%	%			
1	Saccharomyces cerevisiae Con fermentado de oxalis tuberosa		3,6	176,77	175	0,99	86	141	144	5	18	16,74	0,93	14	97	12,34	NEGATIVA	50
2	Saccharomyces cerevisiae Fermentado de harina de oxalis		4	247,25	225	0,91	85	177	179	5	24	23,52	0,98	13,25	92	13,56	POSITIVA	50
3	Muestra con cáscara de oxalis tuberosa, levadura de pan		3	293,81	285	0,97	86	174	179	4	5	4,8	0,96	4,5	90	2,34	NEGATIVA	62
4	Saccharomyces cerevisiae Harina de oxalis tuberosa		6	172,16	167	0,97	82	166	139	5	15	14,85	0,99	8,45	98	12,56	POSITIVA	69
5	Levadura de pan Jugo de cascara de oxalis tuberosa más jugo de limón		3,7	190,91	189	0,99	85	196	201	5	16	14,72	0,92	8,4	89	7,89	NEGATIVA	49
6	Fermentado de harina de oxalis tuberosa con Cinnamomum verum y Syzygium aromaticum		4	241,24	234	0,97	82	206	220	5	17	15,3	0,9	7	90	6,67	POSITIVA	68
7	Fermentado de oca y pulpas con azúcar y levadura		5	388,89	385	0,99	89	225	227	4	18	17,64	0,98	4,57	69	7,56	NEGATIVA	69
8	Trozos de cáscara de oxalis tuberosa en agua (jugo de oxalis tuberosa pulverizada)		5,5	191,92	190	0,99	85	169	170	6	15	13,65	0,91	8,23	82	8,56	NEGATIVA	110
9	Extracto de jugo de cáscara de oxalis tuberosa		6	216,67	195	0,9	82	137	139	4	10	9,9	0,99	6,13	70	11,45	NEGATIVA	110

Fuente: Elaboración propia en base a datos registrados y cálculos durante sesiones de laboratorio de muestras, 2022.