

**IMPACTO DE LAS EXTERNALIDADES AMBIENTALES EN LA EVALUACIÓN
FINANCIERA DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DE SEGUNDA
GENERACIÓN EN COLOMBIA**

**IVÁN RENÉ ELLES NAVARRO
DIANA YAMILE PICÓN ABAUNZA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
INGENIERÍA INDUSTRIAL
2014**

**IMPACTO DE LAS EXTERNALIDADES AMBIENTALES EN LA EVALUACIÓN
FINANCIERA DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DE SEGUNDA
GENERACIÓN EN COLOMBIA**

**IVÁN RENÉ ELLES NAVARRO
DIANA YAMILE PICÓN ABAUNZA**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de
Ingeniero Industrial**

Directora:

**OLGA PATRICIA CHACÓN ARIAS
Doctora en ciencias administrativas**

Codirector:

**Diego Armando Martínez Merlano
Ingeniero químico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

2014

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios y a todas las personas que tocaron mi vida y aportaron en el camino que me condujo hasta aquí.

A mis padres Jairo Elles y Dolfany Navarro, por todos estos años de educación, esfuerzo y amor.

A mis hermanas Yuli y Danna; a Cristina y Diana, por sostener el ánimo, la confianza y la fe.

A la directora y el codirector de este trabajo, Olga Chacón y Diego Martínez, infinitas gracias por su dedicación.

A Nicolás Maestre, por su incondicionalidad y sabiduría.

Dios los bendiga

“Caminante no hay camino, se hace camino al andar”

(Antonio Machado)

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	18
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	20
2. JUSTIFICACIÓN	23
3. OBJETIVOS	25
3.1 OBJETIVO GENERAL.	25
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	25
4. GENERALIDADES DE LOS BIOCOMBUSTIBLES.....	26
4.1 BIOCOMBUSTIBLES DE PRIMERA GENERACIÓN.....	26
4.2 BIOCOMBUSTIBLES DE SEGUNDA GENERACIÓN.	26
4.3 BIOCOMBUSTIBLES DE TERCERA GENERACIÓN.....	27
4.4 BIOETANOL EN COLOMBIA.....	28
5. EXTERNALIDADES AMBIENTALES, IDENTIFICACIÓN Y VALUACIÓN.....	33
5.1 DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE DEL ACV	34
5.2 ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA	34
5.3 VALORACIÓN MONETARIA DE LAS EMISIONES	38
5.3.1 Transferencia de la disposición a pagar de la OCDE a Colombia.....	42
5.3.2 Actualización de las disposiciones a pagar.	44
6. ESTUDIO TÉCNICO	45
6.1 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN.....	45
6.2 LOCALIZACIÓN	45
6.2.7 MICRO-LOCALIZACIÓN.....	50
6.3 INGENIERÍA DEL PROYECTO	51
6.3.1 Descripción técnica del producto.	51
6.3.2 Procesos de producción.....	51
6.3.3 Maquinaria y equipos.	61
6.3.4 Descripción de los insumos.....	69
6.4 CRONOGRAMA DE REALIZACIÓN.....	70
7. PRESUPUESTO DE INVERSIONES.....	72
7.1 INVERSIONES FIJAS	72

7.1.1	Terreno.....	72
7.1.2	Construcciones y obras civiles.	72
7.1.3	Vehículos.	73
7.1.4	Muebles y enseres.	73
7.1.5	Equipos de oficina.....	74
7.2	INVERSIONES DIFERIDAS.....	75
7.3	CAPITAL DE TRABAJO.....	77
7.4	COSTOS DE PRODUCCIÓN.....	77
7.4.1	Costo directo de producción.....	77
7.4.2	Costos indirectos de fabricación (CIF).	89
7.4.3	Costo ambiental.	93
7.5	GASTOS DE ADMINISTRACIÓN	94
7.5.1	Salario personal administrativo.	94
7.5.2	Depreciación.	95
7.6	GASTO DE VENTAS	97
7.6.1	Salario de ventas.....	97
7.7	INGRESOS	98
8.	EVALUACIÓN FINANCIERA	100
8.1	SIMULACIÓN DE MONTE CARLO.....	101
8.1.1	Definición de variables de entrada	101
8.1.2	Proyección del estado de resultados (ER)	102
8.1.3	Flujo de caja.....	111
8.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	114
8.2.1	Tasa interna de retorno (TIR).....	114
8.2.2	Valor presente neto (VPN)	115
8.2.3	Payback ajustado	118
8.2.4	Valor económico agregado (EVA).....	119
9.	CONCLUSIONES.....	121
	BIBLIOGRAFÍA.....	124
	ANEXOS.....	130

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Capacidad de producción en kg/h de bioetanol.	45
Tabla 2. Tipos de transporte e importancia relativa.	47
Tabla 3. Niveles de tiempo de transporte de insumos.	47
Tabla 4. Niveles de disponibilidad del terreno	48
Tabla 5: Niveles de condición de vida.....	48
Tabla 6: Niveles de localización de clientes.....	49
Tabla 7: Servicios públicos.	49
Tabla 8. Características técnicas del producto	51
Tabla 9. Condiciones de operación de reactor de pre-tratamiento ácido.....	52
Tabla 10. Condiciones de operación reactor de pre-tratamiento alcalino.	53
Tabla 11. Condiciones de operación de reactor de pre-tratamiento organosolv.	56
Tabla 12. Condiciones de operación de reactor de pre-tratamiento Explosión de vapor.....	59
Tabla 13. Costo medio de transporte marítimo en Colombia.	68
Tabla 14. Costo total de importaciones por ruta tecnológica.	69
Tabla 15. Costo total de la maquinaria y equipo de las tres rutas tecnológicas.	69
Tabla 16. Insumos	69
Tabla 17. Costo total de obras civiles por ruta tecnológica.	72
Tabla 18. Listado de muebles y enseres.	74
Tabla 19. Equipos de oficina.....	74
Tabla 20. Costo total de instalación por ruta tecnológica (COP).....	75
Tabla 21. Gastos de constitución.....	75
Tabla 22. Gastos totales de constitución.	76
Tabla 23. Costos por concepto de imprevistos por ruta tecnológica.	77
Tabla 24. Parámetros para el proceso de promedio móvil autorregresivo para la tasa de inflación.	79
Tabla 25. Salario Mínimo Mensual Legal Vigente y prestaciones sociales.....	86
Tabla 26. Requerimiento mínimo de Operarios.	87

Tabla 27. Salarios de Mano de obra directa de la ruta tecnológica del Ácido Diluido.....	88
Tabla 28. Salarios de Mano de obra directa de la ruta tecnológica de explosión de Vapor.	88
Tabla 29. Salarios de Mano de obra directa de la ruta tecnológica solventes orgánicos.	89
Tabla 30. Costo mensual de la mano de obra indirecta por ruta tecnológica.	90
Tabla 31. Costo de mantenimiento por ruta tecnológica.	92
Tabla 32. Impuestos establecidos por ley.	92
Tabla 33. Valor del seguro de la fábrica.	93
Tabla 34. Gasto mensual del personal administrativo.	94
Tabla 35. Gasto mensual en energía eléctrica.....	97
Tabla 36. Parámetros de la distribución triangular de la tasa de crecimiento de ventas.	98
Tabla 37. Distribuciones anuales de precios de venta en COP/ galón de etanol..	99
Tabla 38. Proyección del estado de resultado de la ruta tecnológica solventes orgánicos.	103
Tabla 39. Proyección del estado de resultados de la ruta tecnológica ácido diluido.	104
Tabla 40. Proyección del estado de resultados de la ruta tecnológica explosión de vapor.....	105
Tabla 41. Proyección del estado de resultados de la ruta tecnológica solventes orgánicos incluyendo el costo ambiental.	106
Tabla 42. Proyección del estado de resultados de la ruta tecnológica ácido diluido incluyendo el costo ambiental.	107
Tabla 43. Proyección del estado de resultados de la ruta tecnológica explosión de vapor incluyendo el costo ambiental.	108
Tabla 44. TIR para escenario incluyente del costo ambiental.....	114

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición de los residuos de la producción de aceite de palma.	20
Cuadro 2. Potencial energético de los subproductos de la palma de aceite.	21
Cuadro 3. Comparación de diferentes materias primas para la producción de bioetanol.	29
Cuadro 4. Requisitos de calidad del etanol anhidro combustible utilizado como componente oxigenante de gasolina.	30
Cuadro 5. Requisitos de calidad del etanol anhidro combustible desnaturalizado antes de mezclar con las gasolinas motor.	31
Cuadro 6. Cuadro comparativo de emisiones contaminantes al aire de la gasolina corriente y E10.	32
Cuadro 7. Emisiones al aire en unidades equivalentes de sustancias de referencia para un kilogramo de etanol producido, por categoría de impacto y ruta tecnológica.	38
Cuadro 8. Disposición a pagar por categoría de impacto.	40
Cuadro 9. Disposición a pagar por kilogramo de sustancia emitida (COP)	41
Cuadro 10. Transferencia de las disposiciones a pagar (COP/unidad de emisión) a Colombia.	43
Cuadro 11. Actualización de la disposición a pagar (DAP)	44
Cuadro 12. Municipios representantes de las zonas de producción.	46
Cuadro 13. Factores de evaluación.	46
Cuadro 14 Resumen de las calificaciones para cada factor.	50
Cuadro 15. Maquinaria y equipo del proceso de producción mediante pretratamiento de ácido diluido.	61
Cuadro 16. Maquinaria y equipo del proceso de producción mediante pretratamiento de solventes orgánicos.	62
Cuadro 17. Maquinaria y equipo del proceso producción mediante pretratamiento de explosión de vapor.	63
Cuadro 18. Escalado de equipos de la ruta tecnológica ácido diluido.	65

Cuadro 19. Escalado de equipos de la ruta tecnológica solventes orgánicos (organosolv).....	66
Cuadro 20. Escalado de los equipos de la ruta explosión de vapor.....	67
Cuadro 21. Características de los automóviles.....	73
Cuadro 22. Distribuciones anuales de la inflación.	80
Cuadro 23. Parámetro del modelo de serie de tiempo para el precio de la materia prima.....	84
Cuadro 24. Distribuciones estadísticas del precio anual de la materia prima en (COP/Tonelada).....	85
Cuadro 25. Suministros.	90
Cuadro 26. Depreciación en línea recta de las rutas tecnológicas.	91
Cuadro 27. Costo ambiental.	94
Cuadro 28. Depreciación de los activos fijos y por ruta tecnológica.	95
Cuadro 29. Gasto mensual de servicios de telecomunicaciones.....	96
Cuadro 30. Parámetros del modelo de serie de tiempo para el precio de venta mensual.	99
Cuadro 31. Variables de entrada.	102
Cuadro 32. Flujo de caja de la producción de bioetanol mediante pretratamiento de solventes orgánicos.	112
Cuadro 33. Flujo de caja incluyendo el costo ambiental de la producción de bioetanol mediante pretratamiento organosolv.	113

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Producción y venta anual en millones de litros de bioetanol (etanol anhidro) en Colombia (2008-2013).	29
Gráfico 2. Densidad de la probabilidad de la utilidad neta de la ruta tecnológica de solventes orgánicos.	110
Gráfico 3. Densidad de la probabilidad de la utilidad bruta de la ruta tecnológica de explosión de vapor.	110
Gráfico 4. Densidad de probabilidad de la utilidad bruta de la ruta tecnológica de ácido diluido.	111
Gráfico 5. Densidad de tasa interna de retorno pretratamiento de solventes orgánicos.	115
Gráfico 6. Densidad del valor presente neto (VPN).	116
Gráfico 7. Densidad del valor presente neto (VPN) incluyendo las externalidades ambientales.	117
Gráfico 8. Variables de entrada jerarquizadas por su efecto en el VPN.	117
Gráfico 9. Payback ajustado vinculaando externalidades ambientales.	118
Gráfico 10. Payback ajustado sin vincular externalidades ambientales.	119
Gráfico 11. Valor económico agregado externalidades ambientales.	120
Gráfico 12. Valor económico agregado sin incluir externalidades ambientales. ..	120

LISTA DE ANEXOS

Anexo A. Distancia de proveedores de materia prima y clientes a la planta de producción.	131
Anexo B. Diagrama de operaciones de la obtención de bioetanol mediante pretratamiento de ácido diluido.	132
Anexo C. Diagrama de operaciones de la obtención de bioetanol mediante pretratamiento de solventes orgánicos.	133
Anexo D. Diagrama de operaciones de obtención de bioetanol mediante pretratamiento de explosión de vapor.	134
Anexo E. Equipos de referencia.	135
Anexo F. Valores de Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)	137
Anexo G. Costos de instalación de equipos ruta tecnológica ácido diluido.	138
Anexo H. Costos de instalación de equipos ruta tecnológica explosión de vapor.	139
Anexo I. Costos de instalación de equipos ruta tecnológica solventes orgánicos.	140
Anexo J. Datos históricos de tasa de inflación Colombia.	141
Anexo K. Datos históricos para la estimación del precio de la materia prima.	142
Anexo L. Valores de fletes de transporte de RFF de poblaciones de Santander.	145
Anexo M. Cotización virtual de servicio de telefonía e internet con TeleBucarmanga.	146
Anexo N. Cifras anuales de ventas de etanol en Colombia.	147
Anexo O. Precios mensuales de alcohol carburante en COP.	148

RESUMEN

TÍTULO: IMPACTO DE LAS EXTERNALIDADES AMBIENTALES EN LA EVALUACIÓN FINANCIERA DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL DE SEGUNDA GENERACIÓN EN COLOMBIA*.

AUTORES:

ELLES NAVARRO IVÁN RENÉ

PICÓN ABAUNZA DIANA YAMILE**

PALABRAS CLAVE: Externalidad ambiental; Evaluación financiera; Bioetanol de segunda generación; Palma de aceite; Análisis de ciclo de vida.

DESCRIPCIÓN

El cultivo de palma de aceite para la producción de biodiesel ha sido el motor para la reactivación de la agricultura en Colombia. En el procesamiento del fruto de la palma de aceite se generan grandes volúmenes de subproductos como el raquis y la fibra, los cuales al poseer gran potencial energético se convierten en objeto de estudio para la producción de bioetanol de segunda generación.

Este trabajo de grado comprende la realización de la evaluación financiera vinculando externalidades ambientales, de la producción de bioetanol de segunda generación a partir de raquis y fibra de palma de aceite por medio de tres rutas tecnológicas desarrolladas por el Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía (CIDES), las rutas tecnológicas son.

- Obtención de etanol mediante pretratamiento de ácido diluido.
- Obtención de etanol mediante pretratamiento de solventes orgánicos (organosolv).
- Obtención de etanol mediante pretratamiento de explosión de vapor.

Para la elaboración de la evaluación financiera, se ha partido del estudio general de la producción de etanol en Colombia, posteriormente se plantea el problema y se justifica la realización de los estudios técnicos y financieros, que determinen mediante los indicadores Tasa Interna de Retorno (TIR), Valor Presente Neto (VPN), Payback Ajustado y Valor Económico Agregado (EVA), la viabilidad de la implementación de las rutas tecnológicas.

* Trabajo de grado.

** Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Escuela de Ingeniería Industrial. Directora: Olga Patricia Chacón Arias, Doctora en ciencias administrativas. Codirector: Diego Armando Martínez Merlano, Ingeniero químico.

ABSTRACT

TITLE: IMPACT OF THE ENVIRONMENTAL EXTERNALITIES IN THE FINANCIAL EVALUATION OF THE PRODUCTION OF BIOETHANOL OF THE SECOND GENERATION IN COLOMBIA*.

AUTHORS:

ELLES NAVARRO IVÁN RENÉ
PICÓN ABAUNZA DIANA YAMILE**

KEY WORDS: Environmental externalities; Financial evaluation; Second generation bioethanol; Palm oil; Life cycle analysis.

DESCRIPTION

The culture of palm of oil for the production of biodiesel has been the engine for the reactivation of the agriculture in Colombia. In the processing of the fruit of the palm of oil there generate big volumes of by-products as the rachis and the fiber, which on having possessed great energetic potential turn into object of study for the production of bioethanol of the second generation. This work of degree understands the accomplishment of the financial evaluation linking externals environmental, of the production of bioethanol of the second generation from rachis and fiber of palm of oil by means of three technological routes developed by the Center of Investigation for the Sustainable Development in Industry and Energy, the technological routes are:

- Obtaining ethanol by means of pretreatment of diluted acid.
- Obtaining ethanol by means of pretreatment of solvents organic (organosolv).
- Obtaining ethanol by means of pretreatment of steam explosion.

For the production of the financial evaluation, it has split of the general study of the production of ethanol in Colombia, later the problem appears and there justifies itself the accomplishment of the technical and financial studies, which determine by means of the indicators Internal Rate of Return, Present Clear Value, Payback fitted and Economic Added Value, the viability of the implementation of the technological routes.

* Degree proyect .

** Physicomechanical Engineering's Faculty. Industrial Engineering School. Director: Olga Patricia Chacón Arias. Joint manager: Diego Armando Martínez Merlano, Chemical engineer.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la demanda energética es un reto que el mundo debe confrontar. En la actualidad, el aseguramiento de la oferta de energía depende de la existencia de reservas de petróleo y de la garantía de su explotación. Si se analiza el crecimiento de la relación demanda/reservas, la volatilidad de los precios del petróleo, la inestabilidad geopolítica de los países en donde se encuentran las grandes reservas, el impacto al medio ambiente y que las nuevas tecnologías de extracción tomarán gran importancia, pero solo durante los próximos diez años¹, entonces, se plantea la necesidad de diversificar la canasta energética con alternativas de fuentes renovables o sostenibles. En este orden de ideas, los países deben comprometerse con la “investigación, promoción, desarrollo y aumento del uso de formas nuevas y renovables de energía, de tecnologías de secuestro del dióxido de carbono y de tecnologías avanzadas y novedosas que sean ecológicamente racionales”².

El Centro de Investigación para el Desarrollo Sostenible en Industria y Energía (CIDES), adscrito a la escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander, ha desarrollado procesos productivos para la obtención de biocombustibles³ utilizando simuladores de procesos químicos; el objetivo de estos proyectos es explorar nuevas tecnologías para la producción de energía renovable con proyección a la industria, además, analizan los impactos ambientales de los productos durante su ciclo de vida. En este orden de ideas, CIDES, está alineado con la política de biocombustibles en Colombia y con el protocolo de Kioto, los cuales proponen como objetivo del país la diversificación de

¹ World Energy Outlook 2013. Resumen ejecutivo. Paris. 2013. International Energy Agency. p 4.

² NACIONES UNIDAS. Protocolo de Kioto sobre el cambio climático. 1998. Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Art 2-iv. p.2.

³ Combustible líquido o gaseoso que ha sido obtenido de un vegetal o animal que se puede emplear en un proceso de combustión y que cumplan con las definiciones y normas de calidad establecidas por la autoridad competente destinados a ser sustituto parcial o total del Acpm utilizado en motores diésel (COLOMBIA. CONGRESO DE LA REPÚBLICA. Ley 939 de Diciembre 31 de 2004).

la canasta energética a través del uso de los biocombustibles con criterios de sostenibilidad ambiental.

Uno de los proyectos en estudio en este grupo de investigación, es la producción de bioetanol de segunda generación a partir de raquis y fibra del fruto de **palma de aceite**, los cuales son subproductos del proceso de extracción de **aceite crudo de palma**. Para transformar el raquis y la fibra en bioetanol, el CIDES ha simulado tres procesos productivos también llamados rutas tecnológicas, los cuales son:

- Obtención de etanol mediante pretratamiento de ácido diluido.
- Obtención de etanol mediante pretratamiento de solventes orgánicos (organosolv).
- Obtención de etanol mediante pretratamiento de explosión de vapor.

El estudio de los tres procesos para la obtención de etanol se presenta en el trabajo de grado “ANÁLISIS EXERGÉTICO Y AMBIENTAL DEL USO DE RESIDUOS INDUSTRIALES DE LA PALMA AFRICANA PARA LA OBTENCIÓN DE ETANOL”⁴. Este trabajo de grado además de exponer los resultados del análisis exergético y del análisis ambiental del ciclo de vida, también define las características de los equipos y sus condiciones de operación; la cantidad de bioetanol anhídrido producido respecto de la cantidad de materia prima de entrada; los insumos y las cantidades necesarias; las emisiones⁵ de sustancias que impactan al ambiente y la secuencia de operaciones de cada proceso productivo.

Dado el carácter emergente de los procesos mencionados, es necesario determinar la aplicabilidad industrial de los mismos. Por consiguiente, el objetivo de este trabajo es evaluar la factibilidad financiera de los procesos productivos diseñados, internalizando el valor monetario de las externalidades ambientales en la evaluación financiera.

⁴ARDILA, Johana. ANÁLISIS EXERGÉTICO Y AMBIENTAL DEL USO DE RESIDUOS INDUSTRIALES DE LA PALMA AFRICANA PARA LA OBTENCIÓN DE ETANOL. Trabajo de grado Ingeniera Química. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. 2013. 65 p.

⁵ Emisiones al aire y vertidos al agua y suelo (INCONTEC. NTC-ISO 14040).

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El aceite crudo de palma es utilizado para la producción de aceites y grasas comestibles (aceites líquidos y margarinas), concentrados para animales, jabones, biodiesel, entre otros. Este aceite es extraído del fruto de palma mediante prensado, después de una etapa de desfrutamiento, donde los racimos de frutos frescos (RFF) son separados del raquis.

Del proceso de extracción de aceite de palma se obtiene diversos residuos, entre estos la fibra y el raquis (biomasa), los cuales representan entre el 33% - 39,5% RFF. Como se muestra en el cuadro 1, la composición de estos residuos, específicamente su contenido celulósico los convierte en materia prima potencial para la producción de biocombustibles de segunda generación. Así mismo, el cuadro 2, muestra la producción y el potencial energético de estos residuos por hectárea de palma en producción, lo que alerta sobre la subutilización de estos materiales. CENIPALMA estima que por el mal aprovechamiento de los subproductos, una planta de beneficio de 30 t de RFF/h pierde alrededor de US\$ 2.000.000 anuales.

Cuadro 1. Composición de los residuos de la producción de aceite de palma.

Residuo	% Celulosa	% Hemicelulosa	% Lignina
Raquis	44,97± 0,40	19,92 ± 0,40	10,23±0,08
	46,77± 5,39	17,92 ± 4,89	4,15± 0,53
Fibra	33,21± 0,02	16,58 ± 0,06	21,79± 0,01
		11,29 ± 1,17	43,56± 5,20

Fuente: Fernandez, A. Jimenez, I. Rodriguez, M. Restrepo, S. Gómez, J. Biocombustibles de segunda generación y Biodiesel: Una mirada a la contribución de la Universidad de los Andes. Bogotá DC. 2008.

Cuadro 2. Potencial energético de los subproductos de la palma de aceite.

Biomasa	%RFF	%Biomasa sólida	Producción (kg/ha*año)	PCS (kj/kg)	Potencial energético (GJ/ha*año)
Raquis	20-25	53,2	4380	8165	35,76
Fibra	11-14,5	32,3	2660	19201	51,07
Total		-----	7040	-----	86,83

Fuente: MESA, Jens. La palma de aceite: un actor relevante para la reconciliación, los biocombustibles y el desarrollo de la Orinoquía [Online]. En: Foro: Reconciliación – Urbanismo – Energía. (23, 8, 2011: Bogotá D.C). Fedepalma. P.18.

En el marco de las energías renovables y de la utilización eficiente de los recursos naturales, es necesario el máximo aprovechamiento de los mismos, situación que es esquivada hasta el momento en el sector palmero Colombiano, por lo que recientemente los productores en este sector fijan su atención hacia el potencial de los subproductos (biomasa) en la generación de biocombustibles.

En Colombia se inutiliza la biomasa proveniente de las plantas de beneficio de palma africana, aunque unos subproductos en menor medida que otros, por limitantes como el costo de la construcción de plantas exclusivas para su procesamiento. Por lo tanto este trabajo de grado estudia la viabilidad financiera de la producción de bioetanol anhidro desnaturalizado de segunda generación usando el raquis y la fibra de los RFF por medio de tres rutas tecnológicas o procesos productivos.

- Obtención de etanol mediante pretratamiento de ácido diluido.
- Obtención de etanol mediante pretratamiento de solventes orgánicos.
- Obtención de etanol mediante pretratamiento de explosión de vapor.

Por otra parte, motivando la reducción de los impactos sobre el medio ambiente, es importante penalizar o beneficiar a los productos dependiendo del impacto que su ciclo de vida genere en el entorno natural, por esta razón se crean metodologías de costeo de externalidades ambientales, las cuales buscan la valorización de los impactos sobre el medio ambiente y los seres humanos, de tal manera que puedan ser vinculadas a las evaluaciones financieras y se tengan en cuenta en la planeación de cualquier proyecto.

Las externalidades ambientales no son **ni más ni menos** importantes que cualquier otra externalidad económica, por lo que se debe vincular a cualquier análisis coste-beneficio que se realice. Crear un capítulo para las externalidades ambientales en las evaluaciones financieras es avanzar en términos de bienestar y de desarrollo sustentable, es pensar en el valor que para los clientes representa la posibilidad de poseer un ambiente saludable.

En resumen, este proyecto busca evaluar financieramente las alternativas propuestas por el grupo de investigación CIDES, para la solución de la ineficiente utilización de los subproductos de la extracción de aceite crudo de palma, realizando una evaluación financiera integral al asociar los costos por el detrimento del medio ambiente.

2. JUSTIFICACIÓN

La necesidad de la reducción de las emisiones de gases contaminantes y el desconocimiento de la duración de las fuentes fósiles de combustibles, obligan a los países a motivar el desarrollo de biocombustibles en sus territorios, al mismo tiempo impulsa investigaciones que lleven al desarrollo de nuevas tecnologías y métodos de producción que los hagan cada vez más competitivos. Este estudio busca encontrar entre las rutas tecnológicas planteadas la que sea más rentable o en su defecto viable financieramente, de esa manera se pretende mejorar la eficiencia de la cadena de producción de la palma de aceite, al poder obtener mayores ingresos por hectárea cultivada.

El cultivo de palma de aceite ha sido uno de los pilares en la reactivación del sector agrícola colombiano al generar nuevos empleos y utilizar grandes extensiones de terrenos que se encontraban desaprovechadas. Al encontrar rentabilidades atractivas a los inversionistas, éste estudio podrá servir como referente a las empresas extractoras de palma de aceite, para poner en marcha proyectos en los que apliquen ajustando a su entorno la ruta tecnológica que más se adapte a sus necesidades, lo que suscitará consigo nuevos empleos y por consiguiente desarrollo socioeconómico de la región de influencia.

Se convierte entonces este trabajo de grado en otro paso en la exploración de materias primas diferentes a la caña de azúcar para la producción de bioetanol, de igual forma, sirve de base para que en estudios posteriores se analice biomasa de otro origen, sin dejar de lado la perspectiva integral del desarrollo sustentable al realizar evaluaciones en las que se tengan en cuenta las externalidades ambientales, para seguir aproximándose a la preservación de los beneficios naturales para las generaciones futuras.

En Colombia el análisis de las externalidades ambientales es un terreno completamente inexplorado; debido a que aún no se encuentra un marco

regulatorio tributario que castigue o beneficie por los impactos ambientales causados al emitir gases o material particulado, tal como existe en los países europeos, donde se ha establecido el impuesto a las emisiones de carbono.

Por otra parte la inclusión de las externalidades ambientales en los estudios financieros, garantiza mejoras en la calidad de vida de los ciudadanos al condenar pecuniariamente los impactos negativos de las actividades, sanción que exhorta a las empresas a reducir todas las emisiones durante el ciclo de vida de sus productos.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GENERAL

Identificar y cuantificar el impacto de las externalidades ambientales en la evaluación financiera de la producción de bioetanol de segunda generación en Colombia.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar las externalidades ambientales de los procesos de producción de bioetanol de segunda generación obtenidos a partir de la fibra y raquis procedentes de la extracción de aceite de palma.
- Definir y aplicar la metodología por medio de la cual se desarrollará la valuación de las externalidades previamente identificadas, para cada una de las rutas tecnológicas propuestas.
- Realizar la evaluación técnica de las diferentes rutas, determinando el capital de inversión requerido con base en la capacidad instalada y los costos asociados al desarrollo de procesos productivos.
- Aplicar simulación de Montecarlo en los flujos de caja proyectados, definiendo las variables de interés y su distribución de probabilidad.
- Comparar las evaluaciones financieras desarrolladas y seleccionar la ruta tecnológica que presente los mejores resultados en términos de TIR, VPN, PAYBACK AJUSTADO Y EVA.

4. GENERALIDADES DE LOS BIOCOMBUSTIBLES

Los biocombustibles son combustibles obtenidos a partir de biomasa (materia orgánica no fosilizada) y organismos vivos, de manera renovable o sostenible, pueden ser utilizados como remplazo de los combustibles fósiles o mezclados con éstos para mejorar su calidad ambiental.

Los biocombustibles surgen de estudios del potencial de extracción de energía de biomasa presente en el planeta. A medida que avanzan las investigaciones, se busca disminuir los impactos negativos sobre el medio ambiente y los seres humanos, al mismo tiempo aumentar la eficiencia en su producción, así pues, cada avance significativo ha marcado generaciones en la historia de los biocombustibles, lo que en últimas se ha convertido en una forma de catalogarlos.

4.1 BIOCOMBUSTIBLES DE PRIMERA GENERACIÓN

El Manual de Biocombustibles⁶ los cataloga como aquellos que utilizan como materia prima azúcares, almidones, aceites vegetales o grasas animales. Los principales cultivos utilizados son colza, palma de aceite, soja, girasol, caña de azúcar. Esta generación de biocombustible se encuentra en Colombia plenamente desarrollada y representada por el biodiesel de palma de aceite y el etanol de caña de azúcar.

4.2 BIOCOMBUSTIBLES DE SEGUNDA GENERACIÓN

La segunda generación de biocombustibles representa un cambio en el proceso de producción que permite reemplazar los azúcares, el almidón y los aceites, materias primas utilizadas en la primera generación, por diversas formas de

⁶ ASOCIACIÓN REGIONAL DE EMPRESAS DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE (ARPEL). INSTITUTO INTERAMERICANO PARA LA COOPERACIÓN EN AGRICULTURA (IICA). Manual de biocombustibles. 2009. p. 98.

biomasa lignocelulósica, como lo son, los residuos agrícolas y forestales primarios y secundarios, hierbas perennes, árboles de crecimiento rápido, etc.⁷.

Las materias primas utilizadas en esta generación de biocombustible no son consumidas por humanos, ni necesitan grandes extensiones de tierras productivas para su cultivo, por lo que no arriesgan la seguridad alimentaria de las generaciones futuras. Las tecnologías para la producción de estos biocombustibles aún se encuentran en desarrollo, unas en escala laboratorio, otras en plantas piloto.

4.3 BIOCOMBUSTIBLES DE TERCERA GENERACIÓN

“Ésta generación se basa en la utilización de cultivos energéticos especialmente diseñados o adaptados (a través de técnicas avanzadas de genética molecular, genómica y el diseño tradicional de cultivos transgénicos, etc.) a los efectos de obtener materias primas más eficientes para la conversión en biocombustibles y bioproductos”⁸.

La compañía biotecnológica española Biomar Microbial, por ejemplo, ha identificado seis microorganismos denominados microalgas, que al ser cultivadas con sales, luz solar y sin sufrir modificación genética, producen ácidos grasos que originan biocombustible⁹. Por otra parte, se investiga la manera de mejorar cultivos de maderas como eucalipto y álamo para hacerlos más resistentes a la sequía o mejorar su rendimiento en la producción de biocombustibles.

⁷ ASOCIACIÓN REGIONAL DE EMPRESAS DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE (ARPEL). INSTITUTO INTERAMERICANO PARA LA COOPERACIÓN EN AGRICULTURA (IICA). Manual de biocombustibles. 2009. p. 98.

⁸ ARPEL; IICA. Manual de biocombustibles. 2009. p. 98.

⁹ Periódico El Tiempo [online] Bogotá: casa editorial el Tiempo. 22 de febrero del 2012. Citado 25 de junio de 2014. Disponible en internet: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento-2013/DR-37177>.

4.4 BIOETANOL EN COLOMBIA

Colombia ha **instituido** la política nacional de biocombustibles, cuyo objetivo es, “Propender por la diversificación de la canasta energética a través del uso de biocombustibles, con criterios de sostenibilidad ambiental, desarrollo agroindustrial y autosuficiencia energética”¹⁰. Bajo esta directriz se ha establecido un marco regulatorio que estimula el desarrollo sostenible del sector. Entre otras cosas reglamenta el uso de los alcoholes carburantes¹¹, sus técnicas de producción, calidad, precio de venta (Ministerio de Minas y Energía), la obligatoriedad de la mezcla y establece incentivos como exenciones de IVA, zonas francas, créditos blandos, financiamiento de investigaciones, etc. Por consiguiente, las estadísticas de venta de bioetanol (**etanol anhidro**¹²) dadas por Fedebiocombustibles, muestran un crecimiento desde el año 2008 del 8%. El gráfico 1 registra las cifras anuales de producción y venta de etanol en Colombia.

Para facilitar el seguimiento de la implementación de la política de biocombustibles, se ha dividido y organizado territorialmente la producción, creando cuatro zonas conformadas por departamentos de la siguiente manera.

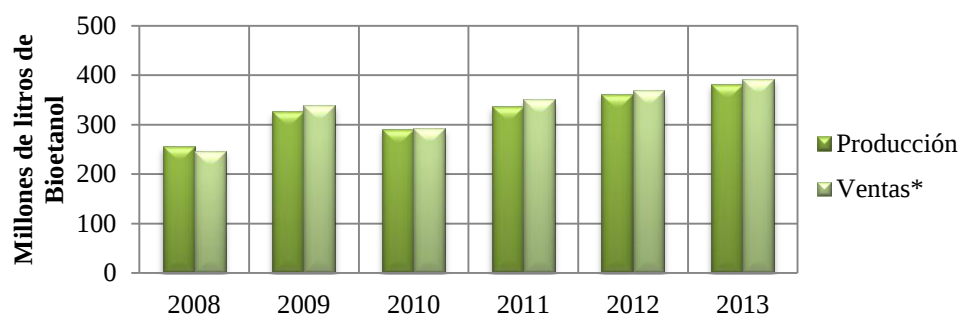
- **Zona Oriental.** Meta y Casanare.
- **Zona Norte.** Bolívar, Cesar y Magdalena.
- **Zona Central.** Bolívar (Sur del departamento, San Pablo), Cesar (Sur del departamento, Aguachica, La Gloria, San Alberto, San Martín), Norte de Santander y Santander.
- **Zona Suroccidental.** Caquetá, Nariño, Cauca, Valle del Cauca y Chocó.

¹⁰ V SEMINARIO LATINOAMERICANO Y DEL CARIBE DE BIOCOMBUSTIBLES. (17-18, Agosto 2010, Santiago de Chile). Política Nacional de Biocombustibles en Colombia. 30 p.

¹¹ Compuesto orgánico líquido, de naturaleza diferente a los hidrocarburos, que tiene en su molécula un grupo hidroxilo enlazado a un átomo de Carbono (COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución N° 18 0687 del 17 de Junio de 2003).

¹² Tipo de alcohol etílico que se caracteriza por tener muy bajo contenido de agua y ser compatible para mezclar con gasolinas en cualquier proporción para producir un combustible oxigenado con mejores características (COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. RESOLUCIÓN N° 18 0687 de Junio 17 de 2003).

Gráfico 1. Producción y venta anual en millones de litros de bioetanol (etanol anhidro) en Colombia (2008-2013).



*La cifra de ventas corresponde a etanol anhidro desnaturalizado, el cual contiene 2% de gasolina.

Datos: Fedebiocombustibles

La materia prima utilizada en la producción de bioetanol en Colombia es la caña de azúcar, el cuadro 3, muestra que entre diversos cultivos estudiados la producción de bioetanol a partir de caña de azúcar presenta el mejor balance energético (Energía producida/Energía de proceso), seguido de las estimaciones teóricas realizadas para residuos lignocelulósicos, como el raquis y la fibra.

Cuadro 3. Comparación de diferentes materias primas para la producción de bioetanol.

Materia prima	Relación de energía	Emisiones evitadas
Caña	9,3	89%
Maíz	0,6 – 2,0	-30% – 38%
Trigo	0,97 – 1,11	19% - 49%
Remolacha	1,2 -1,8	35% - 56%
Mandioca	1,6 – 1,7	63%
Residuos lignocelulósicos*	8,3 – 8,4	66% - 73%

*Estimativas teóricas, los procesos se encuentran en desarrollo.

Fuente: Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).2008. Bioetanol de caña de azúcar; Una energía para el desarrollo sostenible. Elaborado en base a Dai et al. (2006), EBAMM (2005), IEA (2004), Macedo et al. (2007) y Nguyen et al. (2007).

La calidad del etanol en Colombia está reglamentada por la Resolución número 2200 de Diciembre 29 de 2005, en la cual el Ministerio de Ambiente, Vivienda y

Desarrollo Territorial en conjunto con el Ministerio de Minas y Energía, estipularon los requisitos de calidad registrados en el cuadro 4.

Cuadro 4. Requisitos de calidad del etanol anhidro combustible utilizado como componente oxigenante de gasolina.

	Característica	Unidad	Especificación	Métodos de prueba
1	Color		Incoloro	Visual
2	Aspecto			Visual
3	Acidez total, máximo	mg/l	56	ASTM D 1613 o ABNT/ NBR 9866 o MB2606
		% masa	0,007	
4	Conductividad eléctrica máxima	S/m	500	ASTM D 1125 o ** ABNT/ NBR 10547 o MB2788
5	Densidad a 20°C máximo	kg/m ³	791,5	ASTM D 4052 o ASTM D 891 o ABNT/ NBR 5992 o MB1533
6	% etanol, mínimo	%Vol.	99,5	ASTM D 5501
7	%alcohólico a 20°C mínimo	°INPM	99,2	ABNT/ NBR 5992 o MB1533
8	Material no volátil a 105°C, máximo	mg/l	30	ABNT/ NBR 2123
9	Alcalinidad		Negativo	ABNT/ NBR 9866

Fuente: COLOMBIA. MINAMBIENTE. MINENERGÍA. Resolución 2200 (29, Diciembre, 2005). Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1565 del 27 de diciembre de 2004. (29.Diciembre.2005). 2 p. Vigencia 09/01/2005.

Así mismo, la Resolución N°. 1565 de diciembre 27 de 2004, estipula que el etanol anhidro en Colombia debe ser desnaturalizado para hacerlo impotable utilizando gasolina no plomada en una proporción de 2%-3% en volumen, los requisitos de calidad del **etanol anhidro desnaturalizado**¹³ establecidos por esta resolución se encuentran en el cuadro 5.

¹³ Tipo de alcohol etílico mezclado con desnaturalizantes que se caracteriza por tener muy bajo contenido de agua y ser compatible para mezclar con gasolinas en cualquier proporción para producir un combustible oxigenado con mejores características de eficiencia termodinámica y ambiental (COLOMBIA. Ministerio de Minas y Energía. RESOLUCIÓN No. 18 0687 de Junio 17 de 2003).

Cuadro 5. Requisitos de calidad del etanol anhidro combustible desnaturalizado antes de mezclar con las gasolinas motor.

Carac	Unidad	Especificación	Métodos de prueba
1	% Etanol, mínimo	%Vol	96,3ASTM D 5501 ó ABN/NBR 5992
2	Gomas extraíbles con solventes, max.	mg/100 ml	5,0ASTM D 381
3	Contenido de agua, máx.	% Vol.	0,7ASTME2036ASTM D1064
4	Contenido de desnaturalizante, mínimo máximo	% Vol.	2,0ABN/NBR 5992 ó Método PIANO (ASTM D 6729) 3,0
5	Contenido de cloro inorgánico, máx.	Ppm masa	40ASTM D 512 ó ABNT/NBR 10894
		mg/l	32
6	Contenido de Cobre, máx.	mg/kg	0,1ASTM D 1688 ó ABN/NBR10893 ó MB3054
7	Acidez Total (como ácido acético), máx.	% masa	0,007(3)ASTM D 1613-ABN/NBR9866--MB2606
		mg/l	56
8	Phe		6,5 a 9,0ASTM D 6423
9	Apariencia		Visiblemente libre de contaminantes suspendidos o precipitados (claro y brillante) Visual

Fuente: COLOMBIA. MIN AMBIENTE. MIN ENERGÍA. Resolución 1565 (27, Diciembre, 2004). Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 898 del 23 de agosto de 1995, que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna.(27.Diciembre.2004). 16 p. Fecha de vigencia Julio 1° de 2005

El etanol anhidro desnaturalizado es mezclado con gasolina de motor para mejorar la combustión y calidad ambiental de ésta. Según un estudio realizado por Ecopetrol y la Universidad Industrial de Santander (UIS), la mezcla de combustible E10 (10% v/v bioetanol, 90% v/v gasolina), mejora la combustión de la gasolina al contener más oxígeno y reduce las emisiones de azufre, olefinas y aromáticos, las cuales son partículas contaminantes del aire¹⁴. En el cuadro 6 se muestra las emisiones de la gasolina corriente y de la mezcla E10.

¹⁴ TORRES, Jaime. MOLIN, A Daniel. PINTO, Carlos. RUEDA, Fernando. Estudio de la mezcla de gasolina con 10% de etanol anhidrido. Evaluación de propiedades fisicoquímicas. Bucaramanga Ecopetrol, Instituto Colombiano de petróleo. Universidad Industrial de Santander; 2002 p.12.

Cuadro 6. Cuadro comparativo de emisiones contaminantes al aire de la gasolina corriente y E10.

Compuesto	Gasolina Corriente (g/kwh)	E10 (g/kwh)
Monóxido de carbono (CO)	59,1	49,5
Dioxido de carbono (CO ₂)	83,7	82,6
Hidrocarburos	4,1	3,6
Óxido de Nitrógeno (NOx)	2,5	2,2

Fuente: Estudio de mezclas de gasolina con etanol anhidrido - Ecopetrol 2005, citado por El programa de biocombustibles en Colombia.2007. Ministerio de Minas y Energía.

A Enero de 2014 la distribución del uso de mezclas combustibles (gasolina+etanol) dada por Fedebiocombustibles muestra cobertura completa del país por la E8, exceptuando los departamentos de Norte de Santander, Arauca y Guajira, quienes por su condición fronteriza con Venezuela tienen condiciones especiales de precios.

Mediante la Resolución número 9 0932 del 31 de octubre de 2013 el Ministerio de Minas y Energía resolvió establecer la mezcla E10 con gasolina corriente y extra para las zonas productivas central, sur y suroccidental del país, lo que supone un aumento en la demanda en estas zonas de al menos 2% para el presente año (2014). Al mismo tiempo se trabaja en el estudio de la viabilidad técnica de la mezcla E20 para el parque automotor. De ser viable este proyecto, la demanda futura de bioetanol al menos se duplicaría. Según declaraciones dadas por el director de Fedebiocombustibles Jorge Bendeck, la mezcla de etanol podría seguir aumentando hasta igualar a países como Brasil, en el cual el porcentaje está en 25%¹⁵.

¹⁵ Mezcla de Biocombustible llegará al 20% [online]. Editorial el Globo, marzo 26 de 2014 de Bogota, citado 25 de junio de 2014. Disponible en: http://www.larepublica.co/agronegocios/mezcla-de-biocombustibles-llegar%C3%A1-20_128156

5. EXTERNALIDADES AMBIENTALES, IDENTIFICACIÓN Y VALUACIÓN

Las externalidades ambientales son la representación económica de los impactos que sufre el ambiente y por consiguiente los seres humanos, sin que estos se vean reflejados en el valor final del bien o servicio; es por ello que en adelante se estudiarán los impactos ambientales asociados a la producción de bioetanol de segunda generación. Los impactos ambientales se definen como “cualquier cambio en el medio ambiente, ya sea adverso o beneficioso, como resultado total o parcial de los aspectos ambientales de una organización”¹⁶. En el estudio ambiental se le da prioridad a aquellos impactos cuyo efecto sea negativo, debido a su implicación en la salud humana y sostenibilidad de los recursos naturales.

Para identificar y cuantificar los impactos ambientales, CIDES ha decidido utilizar la metodología del análisis del ciclo de vida (ACV). De acuerdo a la NTC-ISO14040, el ACV trata los aspectos ambientales potenciales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto, es decir, desde la adquisición de la materia prima, pasando por la producción, utilización, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final. El estudio del análisis del ciclo de vida se divide en 4 fases:

- Definición del objetivo y alcance.
- Análisis del inventario del ciclo de vida.
- Evaluación de impacto ambiental.
- Interpretación.

Para efectos informativos, se muestran las fases de definición del objetivo, alcance, y, análisis del inventario del ciclo de vida.

¹⁶ Adaptado de. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS. Sistema de gestión ambiental: Requisitos para su uso. NTC-ISO 14001. Bogotá DC.: El instituto, 2004. 28 p.

5.1 DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y ALCANCE DEL ACV

El objetivo del ACV establecido por Ardila¹⁷ en su trabajo de grado es: evaluar, cuantificar y comparar los impactos ambientales de tres procesos de producción de bioetanol, fundamentados en la hidrólisis enzimática de raquis de palma africana.

Así mismo, define el alcance, el cual comprende las etapas de pretratamiento, hidrólisis enzimática, fermentación y purificación de los procesos productivos, es decir, solo se tienen en cuenta los impactos generados en el proceso de producción del bioetanol. La unidad funcional establecida es un 1MJ de etanol, pero para propósito de este trabajo es favorable cambiar la unidad funcional a galón de etanol, por ser ésta la unidad de venta estándar en Colombia.

5.2 ANÁLISIS DEL INVENTARIO DEL CICLO DE VIDA

En esta fase se cuantifica la carga ambiental (salida o entrada de materia o energía de un sistema causando un efecto ambiental negativo) de los promotores del daño y se asignan a categorías de impacto¹⁸ (consecuencias ambientales generadas).

Cabe recordar que el inventario de emisiones de esta fase del ACV es tomado del trabajo de grado “ANÁLISIS EXERGÉTICO Y AMBIENTAL DEL USO DE RESIDUOS INDUSTRIALES DE LA PALMA AFRICANA PARA LA OBTENCIÓN DE ETANOL”¹⁹, en el cual se construye el inventario utilizando el software Simapro. SimaPro es una herramienta profesional desarrollada por la empresa Holandesa PRé Consultants bv para calcular impactos ambientales, sociales y económicos, asociados a un producto o servicio a lo largo de su ciclo de vida.

¹⁷ ARDILA, Johana. ANÁLISIS EXERGÉTICO Y AMBIENTAL DEL USO DE RESIDUOS INDUSTRIALES DE LA PALMA AFRICANA PARA LA OBTENCIÓN DE ETANOL. Trabajo de grado Ingeniera Química. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. 2013. 65 p.

¹⁸ Clase que representa asuntos ambientales de interés a la cual se pueden asignar los resultados del análisis del inventario de ciclo de vida (INCONTEC. NTC-ISO 14040).

¹⁹ ARDILA, Johana. Op, cit. 65 p.

Este software usa una biblioteca de datos de materiales y procesos que incluye bases de datos científicas internacionales entre las que destacan Ecoinvent v3 o la European Life Cycle Database (ELCD) entre otras. Además contiene las principales metodologías de evaluación de impacto ReCiPe, USEtox, IPCC 2007, CML IA, Greenhouse Gas Protocol, Ecological footprint, y varios métodos de Huella Hídrica.

En el trabajo desarrollado por Ardila²⁰. Simapro realiza el cálculo del inventario de emisiones evaluando seis categorías de impacto, y muestra el resultado para cada categoría en unidades equivalentes de una sustancia conocida o ampliamente estudiada. El cálculo de las unidades equivalentes se realiza utilizando el potencial de contribución a la categoría de impacto, el cual es un factor desarrollado para comparar las emisiones de diferentes gases, este se define como “la relación entre la contribución a la categoría de impacto resultante de la emisión de un kilogramo de gas contribuyente y la emisión equivalente de la sustancia de referencia a lo largo de un tiempo T (20, 100, 500 años)”²¹. Las categorías de impacto estudiadas son.

- Calentamiento global.
- Agotamiento de la capa de ozono.
- Oxidación fotoquímica.
- Acidificación.
- Eutrofización.
- Uso de energía no renovable (fósil).

²⁰ ARDILA, Johana. ANÁLISIS EXERGÉTICO Y AMBIENTAL DEL USO DE RESIDUOS INDUSTRIALES DE LA PALMA AFRICANA PARA LA OBTENCIÓN DE ETANOL. Trabajo de grado Ingeniera Química. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. 2013. 65 p.

²¹ ANTON, María. Utilización del análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Tesis doctoral. Barcelona: universitat politècnica de Catalunya. 2004. 218 p.

5.2.1 Calentamiento global.

“La tierra redistribuye la radiación solar, utilizando la atmósfera y los océanos, devolviéndola en forma de radiación infrarroja térmica, la cual es capturada por gases en la atmósfera controlando la temperatura del planeta”²⁰. A este fenómeno se le llama efecto invernadero, los gases encargados de realizar esta acción son principalmente el vapor de agua y el CO₂, y otros secundarios como el metano (CH₄), óxido de nitrógeno (N₂O), y clorofluorocarburos (CFCs). La acción humana ha aumentado la concentración de estos gases en la atmósfera, lo que causa o puede causar sobrecalentamiento del planeta. El inventario de emisiones que influyen en esta categoría de impacto se calcula en kilogramos equivalentes de CO₂.

5.2.2 Agotamiento de la capa de ozono.

“La capa de ozono está ubicada en la estratosfera y su función es servir de filtro a los rayos UV-B emitidos por el sol”²⁰. Estos rayos producen entre otras cosas, enfermedades en los humanos (como el cáncer de piel y las cataratas), afectaciones a cultivos agrícolas y ecosistemas. La descomposición del ozono se produce por la reacción de cloruros y bromuros, con nubes estratosféricas polares (PSCs, por sus siglas en inglés) y los rayos UV. El inventario de emisiones de esta categoría de impacto será expresado en unidades equivalentes de Triclorofluorometano (CFC-11).

5.2.3 Oxidación fotoquímica.

“Los oxidantes fotoquímicos se forman en el aire principalmente bajo condiciones atmosféricas de verano por la reacción de óxidos de nitrógeno NO_x, con compuestos orgánicos volátiles (VOCs, por sus siglas en inglés), formando ozono

troposférico”²². Este ozono troposférico (mejor conocido como smog), puede causar afecciones respiratorias graves y daños a la vegetación. El inventario de emisiones será expresado en kilogramos equivalentes de etileno (C₂H₄).

5.2.4 Acidificación.

“La acidificación es la deposición en el suelo y en el agua de ácidos producto de la liberación de óxidos de nitrógeno (NO_x) y sulfuros en la atmosfera, esto afecta la acidez del medio, en consecuencia afecta la fauna y la flora del área de influencia”²¹. La acidificación produce deforestación y deterioro de los materiales de las construcciones. Las emisiones totales se expresarán en kilogramos de SO₂ equivalentes.

5.2.5 Eutrofización.

“La eutrofización se produce por el aumento de nitrógeno y fósforo en los ecosistemas acuáticos, esto produce sobrepoblación de algas, lo que a su vez conduce a la reducción del oxígeno en el agua”²¹. En algunos casos el ecosistema puede alcanzar condiciones anaerobias lo que restringe toda forma de vida aeróbica. La eutrofización afecta la capacidad de producción de los ecosistemas, la biodiversidad y los recursos abióticos. El valor de las emisiones será expresado en kilogramos equivalentes de fósforo (P).

5.2.6 Utilización de energía no renovable (fósil).

La energía fósil, es energía solar concentrada y petrificada en forma de compuestos de carbono. Esta categoría engloba los impactos generados por el

²² ANTON, María. Utilización del análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Tesis doctoral. Barcelona: universitat politècnica de Catalunya. 2004. 218 p.

uso de energías fósiles, sin importar que estos puedan ser parte de otra categoría. Aquí se realiza el inventario de utilización de energía de origen fósil y se expresa en Mega Julios (MJ) equivalentes.

En el cuadro 7 se muestran los resultados del inventario de emisiones de la producción de bioetanol arrojado por Simapro para cada categoría de impacto y ruta tecnológica, además se observa que la ruta tecnológica que emite menos sustancias nocivas en cada una de las categorías es la ruta de explosión de vapor.

Cuadro 7. Emisiones al aire en unidades equivalentes de sustancias de referencia para un kilogramo de etanol producido, por categoría de impacto y ruta tecnológica.

Categoría de impacto	Sustancia de referencia	Unidad	Organosolv	Ácido diluido	Explosión de vapor
Calentamiento Global	Dióxido de carbono	kg CO ₂ eq	2,9354	5,1369	1,34351
Agotamiento de la Capa de Ozono	Triclorofluorometano	kg CFC-11 eq	7,8E-08	3,77E-06	1,7E-08
Oxidación fotoquímica	Etileno	kg C ₂ H ₄	2,24E-02	1,50E-01	1,81E-02
Acidificación	Dióxido de azufre	kg SO ₂ eq	1,07E-02	8,50E-02	3,95E-03
Eutrofización	Fósforo	kg de P eq	5,09E-04	3,41E-04	1,27E-04
Energía renovable	no ----	MJ eq	46,57125	60,768	5,1934

Fuente: ARDILA, Johana. Análisis exergético y ambiental del uso de residuos industriales de la palma africana para la obtención de etanol.

5.3 VALORACIÓN MONETARIA DE LAS EMISIONES

Para valorizar las emisiones al ambiente se decide usar el método de transferencia de beneficios. “La transferencia de beneficios utiliza la información económica capturada en un lugar y tiempo para hacer inferencias sobre el valor

económico de los bienes y servicios ambientales en otro lugar y tiempo”²³. En este orden de ideas se muestra como una herramienta ágil y poco costosa para realizar valoraciones ambientales. La literatura muestra que la técnica de transferencia de beneficios es un método muy utilizado, pero su exactitud está sujeta a las mediciones de los estudios originales, por lo que Brookshire y Neill argumentan que “las transferencias de beneficios sólo puede ser tan precisas como las estimaciones de beneficios iniciales”²⁴. Por lo tanto se recomienda que el escenario de referencia sea el estudio primario y no transferencias posteriores realizadas con base en ésta.

El escenario base para la transferencia de beneficios de esta evaluación utiliza los valores de emisiones del estudio realizado en la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) por el Centro de Evaluación Ambiental de Productos y Sistemas de Materiales (CPM; por sus siglas en inglés), titulado “A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS). Version 2000 – Models and data of the default method”. Estos valores indican la disposición a pagar (WTP, por sus siglas en inglés, DAP por su traducción al español) de los habitantes de los países asociados a la OCDE, por evitar los impactos causados por las actividades económicas para el año 2000.

El método EPS estudia las emisiones al aire más comunes y evalúa su impacto en las áreas de protección. Este método categoriza los impactos ambientales y calcula la DAP para cada una de las categorías. En el cuadro 8 se muestran las DAP para las categorías estudiadas. Las DAP son obtenidas mediante métodos como salario-riesgo, valoración contingente y análisis de mercados.

El método salario riesgo estudia la relación entre el aumento de la mortalidad en un lugar o actividad económica y los salarios que reciben los trabajadores; la

²³ Wilson, Matthew A., Hoehn John P. 2006. Valuing environmental goods and services using benefittransfer: The state-of-the art and science.p1.

²⁴ Brookshire, D.S., Neill, H.R., 1992. Benefit transfers – conceptual and empirical issues. Water Resources Research 28, 651–655.

valoración contingente utiliza entrevistas para estimar las disposiciones a pagar; por último el método de mercado estudia, cómo los valores de los bienes aumentan con la seguridad implementada en éstos. Cabe resaltar que las categorías que utiliza el método EPS son diferentes a las que se usan en la presente evaluación financiera (categorías establecidas por el método ACV), pero valoran las emisiones y efectos en el entorno ambiental que nos interesan, por lo que se usan los resultados obtenidos por este método.

Cuadro 8. Disposición a pagar por categoría de impacto.

Área de protección	Categoría de impacto	Indicador de categoría	Indicador de unidad (IU)	Disposición a pagar * (COP/IU)
Salud humana	Expectativa de vida	Años de vida perdidos	Persona-año	210.975.100
Salud humana	Morbilidad severa	Morbilidad severa	Persona-año	248.206.000
Salud humana	Morbilidad	Morbilidad	Persona-año	24.820.600
Salud humana	Molestia	Molestia	Persona-año	248.206
Capacidad de producción de los ecosistemas	Capacidad de crecimiento de los cultivos	Cultivos	kg	372.309
Capacidad de producción de los ecosistemas	capacidad de crecimiento de madera	Madera	kg	99,2824
Biodiversidad	Especies en extinción	NEX	Adimensional	$2,73 \times 10^{14}$
Capacidad de producción de los ecosistemas	Producción d carne y pescado	Carne y pescado	kg	2.482,06
Capacidad de producción de los ecosistemas	Acidificación del suelo	Capacidad de intercambio catiónico	Moles H+ equivalentes	24,8206

*Tasa de cambio COP/EURO= 2.482,06

Fuente: CPM. A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS). Version 2000 – Models and data of the default method.

Además, CPM determinó las disposiciones a pagar por la emisión de diferentes sustancias, calculando el efecto de éstas en las categorías de impacto del EPS. Utilizando estos datos se determina una disposición a pagar ajustada, la cual solo tiene en cuenta el efecto de cada sustancia en una categoría específica de impacto, debido a que de esta manera se expresa el análisis del inventario ambiental en este trabajo. El cuadro 9, muestra las DAP ajustadas para las sustancias de referencia.

Cuadro 9. Disposición a pagar por kilogramo de sustancia emitida (COP)

Emisión	Modelo	Categoría de impacto	Indicador de unidad (IU)	Disposición a pagar por categoría de impacto (COP)	Efecto en las categorías de impacto (IU/kg de emisión)
Dióxido de carbono CO2	Estrés térmico	Expectativa de vida	YOLL		7,43E-08
	Inanición	Expectativa de vida	YOLL		6,88E-07
	Inundaciones	Expectativa de vida	YOLL		5,70E-09
	Malaria	Expectativa de vida	YOLL		3,30E-08
	Subtotal	Expectativa de vida	YOLL	210.975.100,00	1,69E+02
	Inanición	Morbilidad severa	Persona-año		3,15E-07
	Malaria	Morbilidad severa	Persona-año		3,80E-08
	Subtotal	Morbilidad severa	Persona-año	248.206.000,00	8,76E+01
	Inanición	Morbilidad	Persona-año		3,17E-07
	Malaria	Morbilidad	Persona-año		3,40E-07
	Subtotal	Morbilidad	Persona-año	24.820.600,00	1,63E+01
	Empírico	Capacidad de producción de cultivos	kg	372,31	7,56E-04
	Subtotal	Capacidad de producción	kg	372,31	2,81E-01
	Altas temperaturas	Producción de madera	kg	99,28	-1,16E-03
	Fertilización CO2	Producción de madera	kg	99,28	-3,93E-02
	Subtotal	Producción de madera	kg	99,28	-4,02E+00
	Cambio abrupto en el clima	Extinción de especies	NEX	2,73E+14	1,26E-14
	Subtotal	Extinción de especies	NEX	2,73E+14	3,44E+00
	DAP CO2 (COP)				272,619207
Dióxido de azufre SO2	Efectos agudos directos	Expectativa de vida	YOLL		1,91E-07
	Aerosol secundario	Expectativa de vida	YOLL		3,74E-05
	Corrosión	Expectativa de vida	YOLL		2,81E-08
	Subtotal	Expectativa de vida	YOLL	210975100	7,94E+03
	Aerosol secundario	Morbilidad Severa	Persona-año		1,27E-08
	Corrosión	Morbilidad Severa	Persona-año		-6,59E-06
	Subtotal	Morbilidad Severa	Persona-año	248206000	-1,63E+03
	Aerosol secundario	Morbilidad	Persona-año	24820600	1,02E-05
	Subtotal	Morbilidad	Persona-año	24820600	2,53E+02
	Aerosol secundario	Molestia	Molestia	248,206	6,45E-03
	Subtotal	Molestia	Molestia	248,206	1,60E+00
	Aerosol secundario	Producción de cultivos	kg	372,309	-1,83E-02
	Subtotal	Producción de cultivos	kg	372,309	-6,81E+00
	Acidificación	Producción de carne y pescado	kg	2482,06	1,18E-03
	Subtotal	Producción de carne y pes	kg	2482,06	2,93E+00
	Aerosol secundario	Producción de Madera	kg	99,2824	2,81E-02
	Subtotal	Producción de Madera	kg	99,2824	2,79E+00
	Acidificación	Base catiónico	Moles de H+ -	24,8206	1,56E+00
	Subtotal	Base catiónico	Moles de H+ -	24,8206	3,87E+01
	Acidificación	Extinción de especies	Nex	2,73E+14	-3,06E-13
	Partículas secundarias	Extinción de especies	Nex	2,73E+14	1,18E-14
	Subtotal	Extinción de especies	Nex	2,73E+14	-8,03E+01
	DAP SO2				6.513,46

Cuadro 9. (Continuación)

Emisión	Modelo	Categoría de impacto	Indicador de unidad (IU)	Disposición a pagar por categoría de impacto (COP)	Efecto en las categorías de impacto (IU/kg de emisión)
CFC-11	Agotamiento del ozono estratosférico	Expectativa de vida	YOLL	210975100	3,36E-04
	Subtotal	Expectativa de vida	YOLL	210975100	7,09E+04
	Agotamiento del ozono estratosférico	Morbilidad severa	Persona-año		7,00E-04
	Subtotal	Morbilidad severa	Persona-año	248206000	1,74E+05
	DAP CFC-11				244.631,83
Etileno C2H4	Cáncer	Expectativa de vida	YOLL		5,29E-06
	Oxidantes	Expectativa de vida	YOLL		1,20E-05
	Subtotal	Expectativa de vida	YOLL	210975100	3,65E+03
	Cáncer	Morbilidad severa	Persona-año		6,20E-07
	Oxidantes	Morbilidad severa	Persona-año		6,76E-07
	Subtotal	Morbilidad severa	Persona-año	248206000	3,22E+02
	Oxidantes	Producción de los cultivos	kg	372,309	4,86E-04
	Subtotal	Producción de los cultivos	kg	372,309	1,81E-01
	Fertilización CO2	Producción de madera	kg	99,2824	-1,29E-01
	Subtotal	Producción de madera	kg	99,2824	-1,28E+01
Fósforo	DAP ETILENO				3.956,81
	Empírica	Extinción de especies	NEX	2,73E+14	5,00E-13
ENR	DAP FÓSFORO				136,50
	Empírico	Agotamiento de las reservas de petróleo	kg	2482,06	5,06E-01
DAP ENERGÍA NO RENOVABLE					1.255,92

*Tasa de cambio= 2.482,06 COP/EURO

Fuente: Construido con base en. CPM. A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS). Version 2000 – Models and data of the default method.

5.3.1 Transferencia de la disposición a pagar de la OCDE a Colombia.

Para realizar la transferencia de las DAP, se parte de la hipótesis planteada por Silalertruksa, et al, la cual supone que “la disposición a pagar para evitar los

daños causados por las emisiones, es proporcional al ingreso per cápita”²⁵. Siguiendo lo propuesto por el mismo autor, la disposición a pagar para Colombia se calcula utilizando el producto interno bruto en paridad de poder adquisitivo [PIB (PPA)] per cápita de la OCDE y de Colombia, mediante la ecuación 1²⁶. Los resultados se encuentran en el cuadro 10.

$$\text{Ecuación 1. } DAP_{col} = \frac{DAPO_{OCDE} * PIB(PPA)_{percapCol} * Tasa \text{ de Cambio}}{PIB(PPA)_{percapOCDE}}$$

Dónde:

PIB (PPA)_{OCDE} = 32.349,33²⁷

PIB (PPA)_{COL} = 11.886,983²⁸

Tasa de cambio = 2.482,06 COP/EURO

Cuadro 10. Transferencia de las disposiciones a pagar (COP/unidad de emisión) a Colombia.

Categoría de impacto	Sustancia de referencia	Unidad	Disposición a pagar OCDE (COP/unidad)	Disposición a pagar Colombia (COP/unidad)
Calentamiento global	CO ₂	kg	272,62	100,18
Acidificación	SO ₂	kg	6.513,46	2.393,41
Agotamiento de la capa de ozono	CFC-11	kg	244.631,83	89.891,64
Oxidación fotoquímica	Etileno	kg	3.956,81	1.453,96
Eutrofización	Fósforo	kg	136,50	50,16
Energía no renovable	ENR	MJ	1.255,92	461,50

²⁵ Silalertruksa, Bonnet y Gheewala. 2010; Nguyen y Gheewala. 2008; NEPO / DANCED, 1998; Conner. 2001.

²⁶ SILALERTRUKSA, Thapat. BONNET, Sébastien. GHEEWALA. Shabbir H. Life cycle costing and externalities of palm oil biodiesel in Thailand. p. 227.

²⁷ ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS (OCDE). Complete databases available via OCDE's iLibrary. Disponible en: <http://stats.oecd.org/index.aspx?queryid=558>.

²⁸ FONDO MONETARIO INTERNACIONAL. World Economic Outlook Databases 2014.

5.3.2 Actualización de las disposiciones a pagar.

Las DAP base fueron calculadas en el año 2000, los resultados obtenidos para Colombia se actualizan al año 2014, utilizando la fórmula de cálculo del valor del dinero en el tiempo (ecuación 2) y la inflación promedio anual de Colombia como tasa de interés (i). Las disposiciones a pagar para el año 2014 se encuentran en el cuadro 11.

Ecuación 2. $DAP(x)_{2014} = DAP(x)_{2000} * (1 + i)^n$; **Dónde.**

i: 5,44%; Inflación promedio anual Colombia de 2000 a 2014.

n: 14; Cantidad de años transcurridos.

Cuadro 11. Actualización de la disposición a pagar (DAP)

Categoría de impacto	Sustancia de referencia	Unidad	Disposición a pagar Colombia (COP/unidad)	Disposición a pagar Colombia 2014 (COP/unidad)
Calentamiento global	CO2	kg	100,18	210,2995595
Acidificación	SO2	kg	2.393,41	5.024,508031
Agotamiento de la capa de ozono	CFC-11	kg	89.891,64	188.709,9864
Oxidación fotoquímica	Etileno	kg	1.453,96	3.052,297679
Eutrofización	Fósforo	kg	50,16	105,2966524
Energía no renovable	ENR	MJ	461,50	968,823591

6. ESTUDIO TÉCNICO

6.1 CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

La capacidad de producción diseñada para cada una de las simulaciones se mide en kilogramos por hora de bioetanol producido y se relacionan en la tabla 1.

Tabla 1. Capacidad de producción en kg/h de bioetanol.

Ruta tecnológica	Capacidad de producción (kg/h) de bioetanol	Capacidad de producción (gal/h) de bioetanol	Capacidad de producción (gal/año) de bioetanol
Explosión de vapor	4.996,53	14.970,32	165096097,9
Ácido diluido	7.358,82	22.048,09	139449997,4
Solventes orgánicos	6.215,7	18.623,13	112097756,2

Cada una las rutas tecnológicas diseñadas tiene la capacidad de procesar 60.000 kg/h de materia prima. Esta demanda de residuos puede ser cubierta por cualquier zona de producción y procesamiento de palma africana en el país exceptuando la zona suroccidental. Se asume que la capacidad utilizada para el primer año de la planta será el 80% de la capacidad diseñada debido a los procesos de entrenamiento y convenios con proveedores.

6.2 LOCALIZACIÓN

Para la localización de la planta de producción, se utiliza el método cualitativo por puntos teniendo en cuenta los municipios relacionadas en el cuadro 12, debido a que en estos lugares o cercano a estos se encuentran las plantas productoras de biodiesel más grandes del país.

Cuadro 12. Municipios representantes de las zonas de producción.

Ciudad	Departamento	Región	Área Sembrada (ha)
Betulia	Santander	Central	36.809
Santa Marta	Magdalena	Norte	32.007
San Carlos de Guaroa	Meta	Oriental	38.409
Facatativa	Cundinamarca	Oriental	36.809

Los factores de evaluación a utilizar para obtener la ubicación más acertada se relacionan en el cuadro 13. A estos factores se le asigna un peso ponderado (participación), de acuerdo con su importancia en la actividad económica.

Cuadro 13. Factores de evaluación.

Nº	Criterio	Participación
1	Disponibilidad del transporte	15%
2	Disponibilidad de insumos	30%
3	Disponibilidad del terreno	10%
4	Condiciones de vida	10%
5	Localización de clientes	15%
6	Servicios públicos	20%
Total		100%

A cada factor de evaluación se otorgan niveles de calificación los cuales permiten realizar la evaluación de manera clara y concreta. La escala de calificación va desde 0 a 100, donde 0 es la calificación más baja y 100 la mejor calificación posible.

6.2.1 Factor 1. Disponibilidad del transporte.

Para el cálculo de la disponibilidad de transporte se tiene en cuenta diferentes tipos de transporte, a los cuales se les asigna un valor de acuerdo a la importancia que tienen respecto de su utilización en la actividad económica. La calificación final es el resultado de la suma de los valores de los tipos de transportes presentes en la ciudad. Los tipos de transporte elegidos y su calificación se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Tipos de transporte e importancia relativa.

Tipo de transporte	Importancia
Terrestre	80
Fluvial	10
Aéreo	5
Tren	5

6.2.2 Factor 2. Disponibilidad de insumos

La disponibilidad de insumo se mide respecto del tiempo máximo de transporte desde el proveedor hasta la planta de producción. Los tiempos de transporte se calculan utilizando la herramienta Google Maps. Los niveles de importancia relativa se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Niveles de tiempo de transporte de insumos.

Tiempo de transporte (h)	Calificación
0-10	90
10-20	75
Mayor a 20	50

6.2.3 Factor 3: Disponibilidad del terreno.

La disponibilidad del terreno se califica de acuerdo al costo promedio departamental de la hectárea rural de la tierra para el año 2012²⁹. En la tabla 4 se muestra los niveles de calificación.

Tabla 4. Niveles de disponibilidad del terreno

Costo promedio del terreno (COP)	Calificación
0 - 5.000.000	100
5.000.001 - 10.000.000	75
> 10.000.000	50

6.2.4 Factor 4: Condiciones de vida.

Este factor ha sido elaborado para tener en cuenta los ingresos de la población del sitio evaluado. Se califica basado en el promedio del Producto Interno Bruto per cápita departamental entre los años 2000 a 2012 registrados por el DANE. Los niveles de calificación se muestran en la tabla 5.

Tabla 5: Niveles de condición de vida.

PIB per cápita (COP)	Calificación
0 - 5.000.000	100
5.000.001-10.000.000	75
Superior a 10.000.000	50

²⁹ UNIDAD DE PLANIFICACIÓN RURAL AGROPECUARIA (UPRA). Mercado de tierras rurales productivas en Colombia: Caracterización, Marco Conceptual, Jurídico e Institucional. 2012. 95 p.

6.2.5 Factor 5: Localización de clientes.

Este factor evalúa utilizando el tiempo mayor de transporte del etanol desde la planta de producción hasta los puntos autorizados por el estado para realizar las mezclas de etanol-gasolina en su región de influencia. Los tiempos de transporte se calculan utilizando la herramienta Google Maps. Los niveles se muestran en la tabla 6.

Tabla 6: Niveles de localización de clientes.

Tiempo de transporte (h)	Calificación
0-3	100
3,1-6	75
Superior a 6	50

6.2.6 Factor 6: Servicios públicos.

Para el cálculo de este factor se tiene en cuenta la prestación de los servicios de agua potable, energía eléctrica, gas natural y telecomunicaciones (telefonía e internet) en los sitios evaluados. A cada servicio se le asignará un valor de acuerdo a su utilización en la actividad económica. La calificación final es el resultado de la suma de los valores de los servicios presentes en el municipio. La tabla 7 muestra los servicios públicos tenidos en cuenta y su calificación.

Tabla 7: Servicios públicos.

Servicio	Calificación
Agua Potable	30
Energía eléctrica	30
Gas Natural	30
Telecomunicaciones	10

El resumen de las calificaciones para cada factor se muestra en el cuadro 14.

Cuadro 14 Resumen de las calificaciones para cada factor.

Criterio	Participación	Betulia	Santa Marta	San Carlos de Guaroa	Facatativá
Disponibilidad del transporte	15%	100	100	70	75
Disponibilidad de insumos	30%	75	75	50	75
Disponibilidad del terreno	10%	100	100	100	50
Condiciones de vida	10%	50	100	50	75
Localización de clientes	15%	100	50	50	50
Servicios públicos	20%	100	100	60	100
TOTAL	100%	87,5	85	60	73,75

Teniendo en cuenta el resultado obtenido, la planta de producción estará ubicada en el municipio de Betulia, el cual presenta la mayor calificación acumulada entre los municipios evaluados.

6.2.7 MICRO-LOCALIZACIÓN.

De acuerdo al resultado obtenido por el método cualitativo de localización, la planta de producción se ubicará en el sector Tienda Nueva del municipio de Betulia, Santander. Esta localidad se encuentra a hora y media del casco urbano de la ciudad de Barrancabermeja y Bucaramanga. En el anexo A se describen los tiempos y distancias registradas desde la planta de producción hasta potenciales proveedores de materia prima y clientes.

6.3 INGENIERÍA DEL PROYECTO

Se decide implementar un sistema de producción continuo, debido a que la planta está diseñada para fabricar a gran escala un producto estándar, utilizando maquinaria especializada y con disposición secuencial.

Por otra parte, éste sistema es favorable al permitir reducir los retrasos en la producción, la manipulación de materiales, el tiempo total de producción, la cantidad de trabajo en curso. Además, facilita el control de la producción y la implementación de controles de calidad.

6.3.1 Descripción técnica del producto.

Las características técnicas del producto se resumen en la tabla 8.

Tabla 8. Características técnicas del producto

Característica	Descripción
Nombre	Etanol anhidro desnaturalizado
% Etanol mínimo	96,3
Sustancia desnaturalizante	Gasolina no plomada
Unidad de medida	Galón
Transporte	Carro tanque
Uso	Mezcla con gasolina

6.3.2 Procesos de producción.

Las rutas tecnológicas ácido diluido, solventes orgánicos y explosión de vapor, poseen las mismas etapas de proceso, preparación de la materia prima, pre-tratamiento, hidrólisis, fermentación, purificación y desnaturalizado. La diferencia entre los procesos radica en la etapa de pre-tratamiento, por lo que el método usado en esta etapa le da el nombre al proceso de producción. Los procesos se describen a continuación.

6.3.2.1. Proceso de producción de bioetanol mediante pretratamiento de ácido diluido.

El diagrama de operaciones se muestra en el Anexo B.

Utilizando camiones la materia prima (MP) se transporta desde las extractoras hasta la planta de producción, donde se aloja en las tolvas de almacenamiento.

- 1) **Molienda.** Por medio de una banda transportadora la MP se carga al triturador a razón de 60.000 (kg/h), aquí se crea una torta uniforme compuesta de 15,47% de celulosa, 11,73% de hemicelulosa, 7,14% de lignina, 0,67 % de cenizas y 65% de humedad.
- 2) **Secado.** La torta se lleva hasta los secadores rotatorios, en los cuales se extrae el agua contenida en la torta y luego se transporta hasta el reactor de pre-tratamiento.
- 3) **Pre-tratamiento Ácido.** En el reactor la torta seca se trata con una mezcla de ácido sulfúrico H_2SO_4 (con las condiciones mostradas en la tabla 9), para convertir el 83% de la hemicelulosa presente en la torta en xilosa soluble, resultando una mezcla sólido-líquida (SL1).

Tabla 9. Condiciones de operación de reactor de pre-tratamiento ácido

Parámetro	Valor
Concentración H_2SO_4	1% en volumen
Temperatura	121 °C
Presión	1 atm
Razón másica (sólido/líquido)	1/9

Datos: Ardila, Johana. Análisis exergético y ambiental del uso de residuos industriales de la palma africana para la obtención de etanol. 2013.

- 4) **Purga de SL1.** A la mezcla SL1 resultante del pre-tratamiento se adiciona agua con el fin de reducir la concentración de ácido.
- 5) **Separación de SL1.** Utilizando un filtro, se separa la fase líquida que contiene la xilosa (L1) de la fase sólida (S1). La fase sólida (S1) se transporta hasta el reactor de pre-tratamiento alcalino, mientras la fase líquida (L1) se bombea al tanque de neutralización ácida.
- 6) **Pre-tratamiento alcalino de S1.** La fase sólida (S1) es tratada con una solución de Hidróxido de sodio (NaOH, con las condiciones especificadas en la tabla 10), para solubilizar la lignina, ya que esta ralentiza la acción de las enzimas en el proceso de hidrólisis enzimática, resultando de este proceso una mezcla sólido-líquida (SL2), la cual se transporta hasta un separador.

Tabla 10. Condiciones de operación reactor de pre-tratamiento alcalino.

Parámetro	Valor
Concentración NaOH	40% en peso
Temperatura	25 °C
Presión	1 atm
Razón másica (sólido/líquido)	1/4

Datos: Ardila, Johana. Análisis exergético y ambiental del uso de residuos industriales de la palma africana para la obtención de etanol. 2013.

- 7) **Separación de SL2.** La mezcla SL2 se separa, la fase líquida (L2) generada se bombea al tanque de neutralización alcalina, mientras la fase sólida (S2) se transporta al tanque de hidrólisis enzimática.
- 8) **Neutralización alcalina de L2 y separación.** En este proceso a la fase líquida L2 se le adiciona ácido sulfúrico (concentración 98% peso/peso) para neutralizar al hidróxido de sodio, y luego se bombea hasta un

separador el cual se encarga de precipitar las partículas de ligninas disueltas en la mezcla.

9) Hidrólisis enzimática. Al reactor de hidrólisis entra la corriente sólida S2 y la corriente líquida neutralizada L2. Las corrientes entrantes son sometidas a la hidrólisis para convertir el 99% de la celulosa en glucosa utilizando enzimas celulasas.

10) Fermentación de glucosa C6. La mezcla de glucosa proveniente de la hidrólisis enzimática se fermenta utilizando el microorganismo *Saccharomyces cerevisiae* (levadura de cerveza), para convertirla en etanol y dióxido de carbono (CO_2) con una eficiencia del 98%. La mezcla de etanol se bombea a un filtro para separar los microorganismos y posteriormente al tanque de mezcla de etanol.

11) Neutralización ácida de L1. La fase líquida L1 la cual contiene xilosa se neutraliza al agregar cal hidratada $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$, en este proceso se produce como residuo yeso $\text{Ca}(\text{OH})_4$, el cual al ser insoluble en agua se separa de L1 por medio de un filtro. La mezcla de xilosa neutralizada es bombeada al reactor de fermentación C5.

12) Fermentación de xilosa C5. La fermentación de xilosa se realiza con el microorganismo *Mucor Indicus*, este transforma xilosa en etanol y dióxido de carbono (CO_2), con una eficiencia de 83,3%. La mezcla de etanol se bombea hacia un filtro encargado de separar los microorganismos, y posteriormente al tanque de mezcla de etanol, donde se combina con la mezcla de etanol proveniente de la glucosa.

13) Concentración. La mezcla de etanol (etanol, glucosa, xilosa, agua, CO_2) proveniente del tanque de mezcla, se bombea a la torre concentradora donde se destila hasta quedar en un porcentaje de pureza que va desde

40% hasta 60% en peso. El etanol destilado se bombea hacia la torre de rectificación para continuar con su purificación.

14)Rectificación. El etanol nuevamente se destila hasta alcanzar 94% de pureza, y se bombea a través de un intercambiador de calor donde se calienta para luego ser transportado hasta los tamices moleculares.

15)Deshidratación por tamices moleculares. Los tamices moleculares permiten alcanzar 99,4% de concentración al etanol, convirtiendo este en etanol anhidro.

16)Desnaturalización. El etanol anhidro proveniente del proceso de deshidratación se bombea hasta los tanque de almacenamiento, donde se mezcla con gasolina no plomada en un porcentaje que va desde 2% hasta 3% en volumen, haciéndolo impotable y en consecuencia evitando el cambio de uso del etanol anhidro.

6.3.2.2. Proceso de producción de bioetanol mediante pretratamiento de solventes orgánicos.

El diagrama de operaciones se muestra en el Anexo C.

Utilizando camiones la materia prima (MP) se transporta hasta la planta de producción, donde se aloja en el patio de almacenamiento.

- 1) **Molienda.** Por medio de una banda transportadora se carga al triturador la MP a razón de 60.000 (kg/h), aquí se crea una torta uniforme compuesta de 15,47% de celulosa, 11,73% de hemicelulosa, 7,14% de lignina, 0,67 % de cenizas y 65% de humedad.
- 2) **Secado.** La torta es llevada hasta los secadores rotatorios, en los cuales se extrae el agua contenida en la torta y luego se transporta hasta el reactor de pre-tratamiento.

- 3) **Pre-tratamiento Organosolv.** Al reactor de pre-tratamiento entra la torta proveniente del proceso de secado y la corriente que contiene los solventes orgánicos provenientes del tanque de mezcla de solventes. En el reactor la biomasa seca se trata con los solventes orgánicos (solución de etanol y ácido sulfúrico H_2SO_4) con las condiciones mostradas en la tabla 11, en este proceso se convierte 86% de la hemicelulosa en xilosa, 36% de la celulosa en glucosa y se solubiliza 81% de la lignina presente en la torta, resultando una mezcla sólido-líquida (SL1).

Tabla 11. Condiciones de operación de reactor de pre-tratamiento organosolv.

Parámetro	Valor
Concentración H_2SO_4	2% en peso
Temperatura	160 °C
Presión	1.500 kPa
Razón másica solución (etanol/agua)	65:35
Razón másica total (sólido/líquido)	1/8

Datos: Ardila, Johana. Análisis exergético y ambiental del uso de residuos industriales de la palma africana para la obtención de etanol. 2013.

- 4) **Alivio.** La mezcla SL1 se conduce a través de intercambiadores de calor en donde se aumenta la temperatura con el fin de gasificar el 90% de los solventes orgánicos, los cuales se separan de la mezcla SL1 por medio del tanque de alivio resultando una corriente gaseosa (G1).
- 5) **Reciclo de G1.** A La corriente G1 se le disminuye la temperatura y se bombea al tanque de mezcla de solventes para que sean nuevamente usados en el pre-tratamiento.
- 6) **Separación de SL1.** Por medio de un filtro, se separa SL1 resultando una fase líquida (L1) que contiene xilosa y glucosa, y una sólida (S1). L1 se

bombea al tanque de neutralización ácida, mientras S1 se transporta al tanque de purga.

- 7) **Neutralización de L1.** En este proceso a la fase líquida L1 se le adiciona Cal al 40% en peso con el fin de reducir la concentración de ácido, luego se le retiran las sales creadas por la reacción de neutralización utilizando un filtro y se bombea hasta el reactor de fermentación C5.
- 8) **Fermentación de xilosa C5.** La fermentación de xilosa se realiza con el microorganismo *Mucor Indicus*, este transforma xilosa en etanol y dióxido de carbono (CO_2), con una eficiencia de 83,3%. La mezcla de etanol se bombea hacia el tanque de mezcla de etanol.
- 9) **Purga de S1.** A la fase sólida S1 se adiciona agua con el fin de reducir la concentración de ácido y se transporta hasta el reactor de hidrólisis enzimática.
- 10) **Hidrólisis enzimática.** La corriente entrante se somete a hidrólisis para convertir el 85% de la celulosa en glucosa utilizando enzimas celulasas a una temperatura de 40 °C. A la mezcla de glucosa creada se le retiran los residuos por medio de un separador y se bombea al reactor de fermentación C6.
- 11) **Fermentación de glucosa C6.** La mezcla de glucosa proveniente de la hidrólisis enzimática se fermenta utilizando el microorganismo *Saccharomyces cerevisiae* (levadura de cerveza), para convertirla en etanol y dióxido de carbono (CO_2) con una eficiencia del 98%. La mezcla resultante de etanol se bombea al tanque de mezcla de etanol, donde se combina con la mezcla de etanol proveniente de la fermentación de xilosa.

12)Concentración. La mezcla de etanol (etanol, glucosa, xilosa, agua, CO₂) proveniente del tanque de mezcla, se bombea a la torre concentradora donde se destila hasta quedar en un porcentaje de pureza que va desde 40% hasta 60% peso/peso. El etanol destilado se bombea hasta la torre de rectificación para continuar con su purificación y además se elimina la mayor parte del CO₂ por venteo.

13)Rectificación. El etanol nuevamente se destila hasta alcanzar 94% de pureza, y se bombea a un intercambiador de calor donde se calienta a 167 °C, para luego ser transportado hasta los tamices moleculares.

14)Deshidratación por tamices moleculares. Los tamices moleculares permiten alcanzar 99,4% de concentración al etanol, convirtiendo este en etanol anhidro.

15)Desnaturalización. El etanol anhidro proveniente del proceso de deshidratación se bombea hasta el tanque de almacenamiento, donde se mezcla con gasolina no plomada en un porcentaje que va desde 2% hasta 3% en volumen, haciéndolo im potable y en consecuencia evitando el cambio de uso del etanol anhidro.

6.3.2.3. Proceso de protección de bioetanol mediante pretratamiento de explosión de vapor.

El diagrama de operaciones se muestra en el Anexo D.

Utilizando camiones la materia prima (MP) se transporta hasta la planta de producción, donde se aloja en el patio de almacenamiento.

1) **Molienda.** Por medio de una banda transportadora la MP se carga al triturador a razón de 60.000 (kg/h), aquí se crea una torta uniforme compuesta de 15,47% de celulosa, 11,73% de hemicelulosa, 7,14% de lignina, 0,67 % de cenizas y 65% de humedad.

- 2) **Secado.** La torta (biomasa) se lleva hasta los secadores rotatorios, en los cuales se extrae el agua contenida y luego se transporta hasta el reactor de pre-tratamiento.
- 3) **Pre-tratamiento Explosión de vapor.** En este pre-tratamiento se utiliza vapor saturado para someter la biomasa seca a un cambio brusco de presión con las condiciones registradas en la tabla 12, este proceso permite convertir el 96% de la hemicelulosa en xilosa, generándose una mezcla sólido-líquida (SL1).

Tabla 12. Condiciones de operación de reactor de pre-tratamiento Explosión de vapor.

Parámetro	Valor
Temperatura	210 °C
Presión alta	2030 kpa
Presión baja	101,24 kpa
Razón másica (sólido/líquido)	1/6,5

Datos: Ardila, Johana. Análisis exergético y ambiental del uso de residuos industriales de la palma africana para la obtención de etanol. 2013.

- 4) **Separación de (SL1).** Por medio de un separador se divide en dos la corriente SL1, produciéndose una corriente líquida (L1) que contiene xilosa y se bombea al reactor de fermentación C5, y una corriente sólida S1, la cual contiene la biomasa que no ha reaccionado, y se envía al reactor de hidrólisis enzimática.
- 5) **Fermentación de xilosa C5.** La fermentación de xilosa se realiza con el microorganismo *Mucor Indicus*, este transforma xilosa en etanol y dióxido de carbono (CO₂), con una eficiencia de 83,3%. La mezcla de etanol se bombea hacia el tanque de mezcla de etanol.

- 6) Hidrólisis enzimática.** Al reactor de hidrólisis entra la corriente sólida S1. La corriente entrante se somete a hidrólisis para convertir el 37,76% de la celulosa en glucosa utilizando enzimas celulasas a una temperatura de 40 °C.
- 7) Fermentación de glucosa C6.** La mezcla de glucosa proveniente de la hidrólisis enzimática se fermenta utilizando el microorganismo *Saccharomyces cerevisiae* (levadura de cerveza), para convertirlo en etanol y dióxido de carbono (CO₂) con una eficiencia del 98%. La mezcla de etanol se bombea al tanque de mezcla de etanol, donde se combina con la mezcla de etanol proveniente de la xilosa.
- 8) Concentración.** La mezcla de etanol (etanol, glucosa, xilosa, agua, CO₂) proveniente del tanque de mezcla, se bombea a la torre concentradora donde se destila hasta quedar en un porcentaje de pureza que va desde 40% hasta 60% en peso. El etanol destilado se bombea hasta la torre de rectificación para continuar con su purificación y además se elimina la mayor parte del CO₂ por venteo.
- 9) Rectificación.** El etanol nuevamente se destila hasta alcanzar 94% de pureza, y se bombea a un intercambiador de calor donde se calienta a 167 °C, para luego ser transportado hasta los tamices moleculares.
- 10)Deshidratación por tamices moleculares.** Los tamices moleculares permiten alcanzar 99,4% de concentración al etanol, convirtiendo este en etanol anhidro.
- 11)Desnaturalización.** El etanol anhidro proveniente del proceso de deshidratación se bombea hasta los tanques de almacenamiento, donde se mezcla con gasolina no plomada en un porcentaje que va desde 2% hasta 3% en volumen, haciéndolo im potable y en consecuencia evitando el cambio de uso del etanol anhidro.

6.3.3 Maquinaria y equipos.

Los equipos requeridos en las rutas tecnológicas se muestran en los cuadros 15,16 y 17.

Cuadro 15. Maquinaria y equipo del proceso de producción mediante pretratamiento de ácido diluido.

Nombre de equipo	Tipo	Capacidad	Material	Cantidad
Banda transportadora	Correa	60.000 (kg/h)	Acero al carbono	1
Transportador de tornillo	Canal en U	98.040 (kg/h)	Acero al carbono	5
Torres de destilación	Destilación	64486,96(kg/h)	Acero inoxidable	2
Fermentador de etanol	Tanque-Piso	2838,2 m ³	SS304	2
Condensador	Cabeza flotante	60.000(Kg/h)	SS304	1
Intercambiador de calor BFW	Shell-Tube	1.077 (kg/h)	SS305	2
Triturador	Doble rodillo	60000(kg/h)	Acero aleado	1
Reactor	Hélice	30240,62(Kg/h)	SS316L	2
Tamiz molecular	Nueve piezas	10364,54(kg/h)	Acero inoxidable	1
Bomba de ácidos	Centrifuga	64,13 (m ³ /h)	SS304	4
Bomba de alimentación Pneumapress	Centrifuga	122,2 (m ³ /h)	SS316	2
Bomba primaria	Centrifuga	51,43 (m ³ /h)	SS316	6
Bomba de transferencia	Centrifuga	40,95 (m ³ /h)	ss304	8
Bomba de Etanol	Centrifuga	9,0941 (m ³ /h)	Acero al carbono	1
Filtro Pneumapress	Separador	60762,09(Kg/h)	SS316	3
Filtro Hidro-ciclón de tambor rotatorio	Separador sólido/líquido	60848 (kg/h)	Recubrimiento EPOXY	4
Tanque de ácidos	Vertical	117,4 (m ³ /h)	Plástico	2
Tanque de purga	Vertical	743915(kg/h)	SS316	1
Tanque overliming	Vertical	107,82 (m ³)	SS304	2
Tanque de almacenamiento y mezcla	Piso-Almacenamiento	782 (m ³)	SS304	2
Tanque de hidrólisis	Piso-Almacenaje	4640(m ³)	SS305	1
Tanque almacén de etanol	Piso-Almacenaje	500 (m ³)	A285C	1
Secador	Rotatorio	60000 (kg/h)		1
Bascula camionera	Móvil, plataforma en lamina	90000 kg	PROTECCIÓN IP67 / IP68	2

Cuadro 16. Maquinaria y equipo del proceso de producción mediante pretratamiento de solventes orgánicos.

Nombre de equipo	Tipo	Capacidad	Material	Cantidad
Banda transportadora de Biomasa	Correa	60.000 (kg/h)	Acero al carbono	1
Transportador de tornillo sin fin	Canal en U	9885,05 (kg/h)	Acero al carbono	3
Torres de destilación	Destilación	49299,58 (kg/h)	Acero inoxidable	2
Fermentador de etanol	Tanque-Piso-Almac	319,810 (m3)	SS304	2
Condensador	Cabeza flotante	79815 (Kg/h)	SS304	5
Intercambiador de calor BFW	Shell-Tube	9065 (Kg/h)	SS305	2
Triturador	Doble rodillo	60000(kg/h)	Acero aleado	1
Tamiz molecular PSA	Nueve piezas	13976,3 (Kg/h)	Acero inoxidable	1
Bomba de Me	Centrifuga	102.011 (kg/h)	SS304	1
Bomba Pneumapress	Centrifuga	31645,69 (kg/h)	SS316	2
Bomba primaria	Centrifuga	44771,779 (kg/h)	SS316	7
Bomba de transferencia	Centrifuga	40,51 (m3/h)	ss304	6
Bomba de Etanol	Centrifuga	12,3(m3/h)	Acero al carbono	1
Filtro Pneumapress	Separador	31612,37 (Kg/h)	SS316	2
Filtro Hidrociclón y de tambor rotatorio	Separador sólido/líquido	46394,36 (kg/h)	Recubrimiento EPOXY	3
Tanque de lavado	Vertical	27403,50 (kg/h)	Acero al carbono	1
Tanque de ácidos	Vertical	107424,017(kg/h)	Plástico	3
Tanque de purga	Vertical	124406,3 (kg/h)	SS316	1
Tanque overliming	Vertical	67582,029 (kg/h)	SS304	1
Tanque de almacenaje y mezcla	Piso-Almacenamiento	110000 (kg/h)	SS304	1
Tanque de Etanol	Piso-Almacenaje	10585,6 (kg/h)	SS305	1
Tanque de hidrólisis	Piso-Almacenaje	78751,21 (kg/h)	SS305	2
Tanque almacén de etanol	Piso-Almacenaje	9811,54 (kg/h)	A285C	1
Secador	Rotatorio	60000 (kg/h)		1
Bascula camionera	Móvil plataforma lamina	90000 kg	PROTECCIÓN IP67 / IP68	2

Cuadro 17. Maquinaria y equipo del proceso producción mediante pretratamiento de explosión de vapor.

Nombre de equipo	Tipo	Capacidad	Material	Cantidad
Banda transportadora	Correa	60.000 (kg/h)	Acero al carbono	1
Transportador de tornillo	Canal en U	19.238,18(kg/h)	Acero al carbono	2
Torre de destilación	Destilación	51.501,2(kg/h)	Acero inoxidable	2
Fermentador de etanol	Tanque-Piso-	6.492,15 (kg/h)	SS304	2
Condensador	Cabeza flotante	65000 (kg/h)	SS304	2
Intercambiador de calor BFW	Shell-Tube	7000 (kg/h)	SS305	2
Triturador	Doble rodillo	60000(kg/h)	Acero aleado	1
Tamiz molecular PSA	Nueve piezas	6.980,85 (kg/h)	Acero inoxidable	1
Bomba Pneumapress	Centrifuga	98.434,54 (kg/h)	SS316	3
Bomba primaria	Centrifuga	12179,29423	SS316	1
Bomba de transferencia	Centrifuga	55.943,95 (kg/h)	SS304	6
Bomba de Etanol	Centrifuga	5.869,4 (kg/h)	Acero al carbono	1
Filtro Pneumapress	Separador	76.011,18 (kg/h)	SS316	1
Filtro Hidrociclón y de tambor rotatorio	Separador sólido/líquido	50.638,59	Recubrimiento EPOXY	3
Tanque de purga	Vertical	178.851,33(kg/h)	SS316	1
Tanque de almacenamiento y mezcla	Piso-Almacenamiento	50.702 (kg/h)	SS304	2
Tanque de hidrólisis	Piso-Almacenaje	108.472(kg/h)	SS305	2
Tanque de almacenamiento de etanol	Piso-Almacenamiento	4.869,64(kg/h)	A285C	1
Secador	Rotatorio	60000 (kg/h)		1
Bascula camionera	Móvil plataforma lamina	90000 kg	PROTECCIÓN IP67 / IP68	2

Las capacidades de los equipos utilizados en el proceso productivo se calcula utilizando el software Aspen Hysys³⁰, y sus costos de adquisición se extrapolan desde Techno-Economic Analysis of Biochemical Scenarios for Production of Cellulosic Ethanol, estudio realizado por National Renewable Energy Laboratory (NREL) de EE.UU. La estimación de los costos de adquisición se realiza con base en costos de equipos de función igual o similar pero con capacidad diferente.

³⁰ Módulo de Aspen One. Función: simulación de procesos químicos.

La ecuación 3 es utilizada para esta estimación. El listado de equipos de referencia se encuentra en el anexo E.

Ecuación 3 ³¹. $Costo_a = Costo_0 \left(\frac{Capacidad_a}{Capacidad_0} \right)^n$ **Donde;**

Costo_a: Costo a estimar

Costo₀: Costo conocido

n: Factor de escala (tabla).

Capacidad_a: Capacidad del equipo a estimar.

Capacidad₀: Capacidad del equipo de referencia.

En el caso del secador rotatorio, condensadores, e intercambiadores de calor los costos fueron escalados utilizando Aspen Economic Analyzer³², mientras que la báscula camionera fue cotizada en la empresa Braunker Ingeniería.

Una vez obtenidos los costos escalados en el año base, se realiza la actualización de los costos al año 2013 a través de la ecuación 4, utilizando el Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)³³. Este índice de costos se utiliza para ajustar el costo de capital requerido en la construcción de fábricas de productos químicos. Los valores CEPCI utilizados se muestran en el anexo F. Los cálculos de escalado de equipos y actualización de costos de adquisición para las rutas ácido diluido, organosolv y explosión de vapor se encuentra en el cuadro 18, 19 y 20 respectivamente.

Ecuación 4 $Costo_p = Costo_0 \frac{\text{Valor del índice en el presente}}{\text{Valor del índice en el tiempo original}}$, donde.

Costo_p: Costo a estimar

Costo₀: Costo de máquina de referencia

³¹ PETERS, Max. TEMMERHAUS Klaus D, Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Second Ed. New York, 1991, p. Cap. 4.

³² Módulo de Aspen One para análisis de la inversión, preparación de diseños detallados y cronograma de actividades.

³³ CHEMICAL ENGINEERING. Chemical Engineering's Plant Cost Index (Online). Citado: Mayo 12 de 2014. Disponible en: <http://www.che.com/pci/>.

Cuadro 18. Escalado de equipos de la ruta tecnológica ácido diluido.

ID	CANTIDAD	NOMBRE DE QUIPO	ESCALADO CON BASE EN	PROPIEDAD AÑO BASE	PROPIEDAD 2013	(2013/BASE)	COSTO ORIGINAL POR UNIDAD (USD)	COSTO TOTAL DE EQUIPOS AÑO BASE	AÑO BASE	EXPONENTE DE ESCALADO	COSTO ESCALADO AÑO BASE	CEPCI AÑO BASE	CEPCI 2013	COSTO AÑO 2013 (USD)	FACTOR INSTALACIÓN	COSTO INSTALACIÓN 2013	PESO (kg) *
C101	1	Banda transportadora de Biomasa	LONGITUD (m)	120,00	10	0,08	400.000	400.000	2000	0,6	90.064,00	394,1	567,5	129.691,25	0,62	80.408,57	1.633
C104	5	Transportador de tornillo sin fin	FLUJO (Kg/hr)	98040,00	44762,3619	0,46	60.000	300.000	2000	0,6	187.424,81	394,1	567,5	269.889,82	0,38	102.558,13	10.500
F300	2	Fermentador de etanol	VOLUMEN (m^3)	3644,00	2838,19581	0,78	493.391	986.782	2010	0,6	849.375,27	550,8	567,5	875.127,93	0,2	175.025,59	5.000
H504*	1	Condensador	FLUJO (Kg/hr)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1997	0,68	44.900,00	386,5	567,5	65.926,91	1,1	72.519,60	250
H811*	1	Intercambiador de calor BFW	FLUJO (Kg/hr)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1996	0,68	58.600,00	381,7	567,5	87.124,71	1,1	182.961,88	980
M105	1	Triturador	FLUJO (Kg/hr)	98040,0000	60000	0,61	302.000	302.000	2000	0,6	224.934,31	394,1	567,5	323.903,13	0,38	123.083,19	2.900
M202	2	Reactor	FLUJO (Kg/hr)	271313,00	30240,6273	0,11	2.498.304	4.996.607	2000	0,6	1.339.514,24	394,1	567,5	1.928.886,92	1,29	2.488.264,12	7.300
M503	1	Tamiz molecular	FLUJO (Kg/hr)	20491,00	10364,5481	0,51	2.498.304	2.498.304	1998	0,7	1.550.373,29	389,5	567,5	2.258.887,91	0	-	-
P201	4	Bomba de ácidos	CAUDAL(m^3/hr)	0,91	64,1350492	70,48	34.447	137.788	2000	0,79	3.973.507,96	394,1	567,5	5.721.811,14	1,8	10.299.260,05	790
P205	2	Bomba de alimentación Pneumapress	CAUDAL(m^3/hr)	227,10	122,20134	0,54	14.860	29.719	2000	0,79	18.214,58	394,1	567,5	26.228,80	2,34	61.375,40	570
P211	6	Bomba primaria	CAUDAL(m^3/hr)	227,10	51,4302785	0,23	32.549	195.294	2000	0,79	60.414,42	394,1	567,5	86.996,15	2,56	222.710,13	1.220
P306	8	Bomba de transferencia	CAUDAL (m^3/hr)	370,63	40,9571435	0,11	17.300	138.400	1998	0,79	24.289,21	389,5	567,5	35.389,29	1,8	63.700,73	1.620
P701	1	Bomba de Etanol	CAUDAL (m^3/hr)	73,58	9,0941	0,12	9.400	9.400	1997	0,79	1.802,22	386,5	567,5	2.646,21	1,8	4.763,18	90
S205	3	Filtro Pneumapress	FLUJO (Kg/hr)	50299,00	60762,0916	1,21	1.575.000	4.725.000	2000	0,6	5.292.316,78	394,1	567,5	7.620.882,44	0,05	381.044,12	5.800
S222	4	Filtro Hidrociclón y de tambor rotatorio	FLUJO (Kg/hr)	5195,00	62086,0636	11,95	165.000	660.000	1998	0,39	1.736.733,89	389,5	567,5	2.530.414,59	0,4	1.012.165,84	660
T201	2	Tanque de ácidos	CAUDAL (m^3/hr)	1647,00	117,403796	0,07	9.411	18.822	1996	0,71	2.885,94	381,7	567,5	4.290,73	0,4	1.716,29	149.200
T203	1	Tanque de purga	FLUJO (Kg/hr)	270300,00	743914,68	2,75	65.987	65.987	1997	0,6	121.133,60	386,5	567,5	177.861,11	0,2	35.572,22	3.300
T209	2	Tanque overliming	VOLUMEN (m^3)	174,89	107,82391	0,62	100.144	200.288	1997	0,71	142.075,60	386,5	567,5	208.610,36	0,4	83.444,14	5.800
T306	3	Tanque de almacenamiento y mezcla	VOLUMEN (m^3)	1728,50	781,81065	0,45	266.897	800.691	1998	0,71	455.849,84	389,5	567,5	664.171,46	0,2	132.834,29	22.800
T310	6	Tanque de hidrólisis	VOLUMEN (m^3)	3644,00	4640	1,27	493.391	2.960.346	1998	0,71	3.514.387,12	389,5	567,5	5.120.448,50	0,2	1.024.089,70	2.500
T701	2	Tanque de almacenamiento de etanol	VOLUMEN (m^3)	2286,90	500	0,22	46.684	93.368	1997	0,51	42.998,84	386,5	567,5	63.135,42	0,4	25.254,17	51.000
	1	Bascula camionera**	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	35.962,73	0,1	\$ 3.596,27	
	2	Torre de destilación***	FLUJO (Kg/hr)	56477,00	64486,9638	1,14	636.714	1.273.428	1998	0,79	1.414.095,17	389,5	567,5	2.060.331,22	0,1	206.033,12	27.850
	3	Secador rotatorio*	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1999	0,6	2.484.000,00	389,5	567,5	3.619.178,43	0,3	1.085.753,53	1.000

*Escalado utilizando Aspen Process Economic Analyzer ** La báscula camionera se cotizó con proveedores*** La torre de destilación es un conjunto de equipos (D502, H504, H505, P504, P505. ver anexo Maquinaria de referencia).

Cuadro 19. Escalado de equipos de la ruta tecnológica solventes orgánicos (organosolv).

ID	CANT	NOMBRE DE QUIPO	ESCALADO CON BASE EN	PROPIEDAD AÑO BASE	PROPIEDAD 2013	(2013/ BASE)	COSTO ORIGINAL EQUIPO POR UNIDAD (USD)	COSTO TOTAL DE EQUIPOS AÑO BASE	AÑO BASE	EXPONENTE DE ESCALADO	COSTO ESCALADO AÑO BASE (USD)	CEPCI AÑO BASE	CEPCI 2013	COSTO 2013 (USD)	FACTOR DE INSTALACIÓN	COSTO DE INSTALACIÓN 2013	PESO (Kg)*
C101	1	Banda transportadora de Biomasa	LONGITUD (m)	120,00	10	0,08	400.000	400.000	2000	0,6	90.064,00	394,1	567,5	129.691,25	0,62	80.408,57	1.633
C104	2	Transportador de tornillo sin fin	FLUJO (Kg/hr)	98040,00	19238,01675	0,20	60.000	120.000	2000	0,6	45.168,48	394,1	567,5	65.042,15	0,38	24.716,02	1.990
F300	2	Fermentador de etanol	VOLUMEN (m³)	3644,00	6492,159049	1,78	493.391	986.782	2010	0,6	1.395.428,82	550,8	567,5	1.437.737,57	0,2	287.547,51	4.900
H504*	2	Condensador	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1997	0,68	121.800,00	386,5	567,5	178.839,59	0,1	17.883,96	1.550
H811*	2	Intercambiador de calor BFW	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1997	0,68	109.800,00	386,5	567,5	161.219,92	0,1	16.121,99	540
M105	1	Triturador	FLUJO (Kg/hr)	98040,00	60000	0,61	325.551	325.551	2000	0,6	242.475,65	394,1	567,5	349.162,48	0,38	132.681,74	2.900
M503	1	Tamiz molecular	FLUJO (Kg/hr)	20491,00	6980,85612	0,34	2.700.000	2.700.000	1998	0,7	1.270.590,60	389,5	567,5	1.851.245,61	0	-	-
P 205	3	Bomba de alimentación Pneumapress	FLUJO (Kg/hr)	50229,00	98434,54621	1,96	14.860	44.579	2000	0,79	75.851,26	394,1	567,5	109.225,04	0,34	37.136,52	890
P 211	1	Bomba primaria	FLUJO (Kg/hr)	136350,00	12179,29423	0,09	32.549	32.549	2000	0,79	4.828,38	394,1	567,5	6.952,82	0,56	3.893,58	110
P 306	6	Bomba de transferencia	FLUJO (Kg/Hr)	381701,00	55943,92403	0,15	19.680	118.080	1997	0,79	25.902,38	386,5	567,5	38.032,61	0,8	30.426,09	1.270
P 701	1	Bomba de Etanol	FLUJO (Kg/hr)	18549,00	4869,64436	0,26	9.400	9.400	1997	0,79	3.267,97	386,5	567,5	4.798,37	0,8	3.838,70	100
S205	1	Filtro Pneumapress	FLUJO (Kg/hr)	50299,00	76011,17953	1,51	1.531.637	1.531.637	2000	0,6	1.962.215,59	394,1	567,5	2.825.570,53	0,05	141.278,53	2.400
S222	3	Filtro Hidrociclón y de tambor rotatorio	FLUJO (Kg/Hr)	5195,00	50638,59512	9,75	165.000	495.000	1998	0,39	1.203.025,07	389,5	567,5	1.752.802,89	0,44	771.233,27	4.800
T203	1	Tanque de purga	FLUJO (Kg/hr)	270300,00	178851,33	0,66	65.987	65.987	1997	0,6	51.504,61	386,5	567,5	75.624,48	0,2	15.124,90	2.000
T306	3	Tanque de almacenamiento y mezcla	FLUJO (Kg/hr)	381700,00	50702,00493	0,13	237.700	713.100	1998	0,71	170.096,57	389,5	567,5	247.830,04	0,2	49.566,01	1.570
T310	2	Tanque de hidrólisis	FLUJO (Kg/Hr)	67737,00	108472,0186	1,60	493.391	986.782	1998	0,71	1.378.511,43	389,5	567,5	2.008.485,84	0,2	401.697,17	6.600
T701	1	Tanque de almacenamiento de etanol	FLUJO (Kg/Hr)	18549,00	4869,64436	0,26	46.684	46.684	1997	0,51	23.601,97	386,5	567,5	34.654,89	0,4	13.861,96	1.800
	1	Bascula camionera**	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	35.962,73	0,1	\$ 3.596,27	
	3	Secador rotatorio*	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1999	0,6	2.484.000,00	389,5	567,5	3.619.178,43	0,3	1.085.753,53	1.000
	2	Torre de destilación***	FLUJO(kg/hr)	56477	51501,16202	0,91	1.243.344	2.486.688	1998	0,79	2.311.948,58	389,5	567,5	3.368.500,18	0,1	336.850,02	29.950

*Escalado utilizando Aspen Process Economic Analyzer.

** La báscula camionera se cotizó con proveedores en Colombia.

*** La torre de destilación es un conjunto de equipos (D502, H504, H505, P504, P505).

Cuadro 20. Escalado de los equipos de la ruta explosión de vapor.

ID	CANT	NOMBRE DE QUIPO	ESCALADO CON BASE EN	PROPIEDAD AÑO BASE	PROPIEDAD 2013-2	(2013/BASE)	COSTO ORIGINAL EQUIPO POR UNIDAD (USD)	COSTO TOTAL DE EQUIPOS AÑO BASE	AÑO BASE	EXPONENTE DE ESCALADO	COSTO ESCALADO AÑO BASE (USD)	CEPCI AÑO BASE	CEPCI 2013	COSTO 2013 (USD)	FACTOR DE INSTALACIÓN	COSTO INSTALACIÓN	PESO (Kg)*
C101	1	Banda transportadora de Biomasa	LONGITUD (m)	120,00	10	0,08	\$ 400.000,00	\$ 400.000,00	2000	0,6	\$ 90.064,00	394,1	568	129.691,25	0,62	\$ 80.408,57	1.633
C104	3	Transportador de tornillo sin fin	FLUJO (Kg/hr)	98040	9885,053212	0,10	\$ 60.000,00	\$ 180.000,00	2000	0,6	\$ 45.437,87	394,1	568	65.430,07	0,38	\$ 24.863,43	3090
F-300	14	Fermentador de Etanol	VOLUMEN (m³)	3644	319,8109848	0,09	\$ 493.391,00	\$ 6.907.474,00	2000	0,6	\$ 1.604.383,78	550,8	568	1.653.027,96	0,2	\$ 330.605,59	28000
H504*	3	Condensador PSA	FLUJO (Kg/hr)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1996	0,68	\$ 212.200,00	381,7	568	315.492,53	1,1	\$ 347.041,79	3100
H811*	2	Intercambiador	FLUJO (Kg/hr)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1996	0,68	\$ 459.793,95	382,7	568	681.821,45	1,1	\$ 750.003,59	1430
M105	1	Triturador	FLUJO (Kg/hr)	98040	60000	0,6119951	\$ 325.551,25	\$ 325.551,25	2000	0,6	\$ 242.475,65	394,1	568	349.162,48	0,38	\$ 132.681,74	2900
M503	1	Tamiz molecular	FLUJO (Kg/hr)	20491	13976,30	0,68207018	\$ 2.498.303,67	\$ 2.498.303,67	1998	0,7	\$ 1.911.285,51	389,5	568	2.784.735,63	0	\$ -	-
P201	1	Bomba de Me	CAUDAL(m³/hr)	1647	102010,56	61,9371924	\$ 34.446,00	\$ 34.446,00	2000	0,79	\$ 896.975,32	394,1	568	1.291.635,36	1,8	\$ 2.324.943,64	350
P 205	2	Bomba de alimentación Pneumapress	FLUJO (Kg/hr)	50299	31645,69956	0,62915166	\$ 14.859,67	\$ 29.719,33	2000	0,79	\$ 20.608,95	394,1	568	29.676,67	2,34	\$ 69.443,42	540
P 211	7	Bomba primaria	FLUJO (Kg/hr)	136350	44771,77975	0,32835922	\$ 32.549,00	\$ 227.843,00	2000	0,79	\$ 94.526,06	394,1	568	136.116,57	2,56	\$ 348.458,42	348458,424
P306	6	Bomba de transferencia	CAUDAL (m³/hr)	370,63	40,51733576	0,10932017	\$ 19.680,00	\$ 118.080,00	2000	0,79	\$ 20.547,06	386,5	568	30.169,35	1,8	\$ 54.304,83	1360
P701	1	Bomba de Etanol	CAUDAL (m³/hr)	73,58	12,3	0,16716499	\$ 9.400,00	\$ 9.400,00	1997	0,79	\$ 2.287,77	386,5	568	3.359,15	1,8	\$ 6.046,46	130
S205	2	Filtro Pneumapress	FLUJO (Kg/hr)	50299	31612,37241	0,62848908	\$ 1.575.000,00	\$ 3.150.000,00	1997	0,6	\$ 2.383.906,39	394,1	568	3.432.801,00	0,05	\$ 171.640,05	3000
S222	3	Filtro Hidrociclón y de tambor rotatorio	FLUJO (Kg/hr)	5195	46394,3604	8,93057948	\$ 165.000,00	\$ 495.000,00	1998	0,39	\$ 1.162.648,03	389,5	568	1.693.973,70	0,4	\$ 677.589,48	3300
T201	3	Tanque de ácidos	CAUDAL (m³/hr)	10647	107424,0177	10,0896044	\$ 9.411,00	\$ 28.233,00	1998	0,39	\$ 69.545,33	389,5	568	101.327,27	0,4	\$ 40.530,91	2700
T203	1	Tanque de purga	FLUJO (Kg/hr)	270300	124406,301	0,46025269	\$ 65.987,00	\$ 65.987,00	1997	0,6	\$ 41.424,40	386,5	568	60.823,66	0,3	\$ 18.247,10	1500
T209	1	Tanque overliming	VOLUMEN (m³)	167050	67582,0295	0,40456169	\$ 100.144,00	\$ 100.144,00	1997	0,71	\$ 52.672,52	386,5	568	77.339,34	0,4	\$ 30.935,74	2600
T301	2	Tanque mezclador recuperacion	FLUJO (Kg/Hr)	10648	102010,5559	9,58025506	\$ 9.412,00	\$ 18.824,00	1996	0,71	\$ 93.646,09	381,7	568	139.230,17	0,2	\$ 27.846,03	1300
T306	1	TANQUE DE ETANOL	FLUJO (Kg/Hr)	381700	10585,6099	0,0277328	\$ 266.897,00	\$ 266.897,00	1998	0,71	\$ 20.934,82	389,5	568	30.501,95	0,2	\$ 6.100,39	1800
T310	2	Tanque de hidrólisis	VOLUMEN (m³)	67737	78751,21944	1,16260271	\$ 493.391,00	\$ 986.782,00	1998	0,39	\$ 1.046.500,49	389,5	568	1.524.747,19	0,4	\$ 609.898,88	2750
T701	2	Tanque de almacenamiento de etanol	FLUJO (Kg/Hr)	18549	9811,54	0,5289525	\$ 46.684,00	\$ 93.368,00	1997	0,51	\$ 67.474,64	389,5	568	98.310,29	0,4	\$ 39.324,11	3600
	1	Bascula camionera**	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	35.962,73	0,1	\$ 3.596,27	
	3	Secador rotatorio*	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1999	0,6	2.178.600,00	389,5	568	3.174.211,81	0,3	\$ 952.263,54	1000
	2	Torre de destilación***	FLUJO(kg/hr)	56477	49299,58877	0,87291444	\$ 46.684,00	\$ 93.368,00	1996	0,39	\$ 88.547,64	389,5	568	129.013,58	0,4	\$ 51.605,43	11950

*Escalado utilizando Aspen Process Economic Analyzer.

** La báscula camionera se cotizó con proveedores en Colombia.

***La torre de destilación es un conjunto de equipos (D502, H504, H505, P504, P505).

El escalado de los equipos se hace con base en precios de mercado para E.E.U.U. Por consiguiente, se calculan los costos asociados a la importación a Colombia. Para realizar este cálculo se toma como base las estimaciones realizada por el Banco Mundial en el marco del proyecto “Doing Business” para el costo promedio de transporte marítimo por país, para un contenedor de 20 pies, 10 toneladas de peso y valorado en USD\$20.000. Las estimaciones se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Costo medio de transporte marítimo en Colombia.

Procedimientos de importación	USD
Preparación de documentos (Colombia)	250
Autorización de aduana y control técnico (Colombia)	170
Puertos y manejo terminal (Colombia)	150
Transporte y manejo en tierra (Colombia)	1.900
Autorización de aduana y control técnico (EEUU)	60
Transporte interior y manejo (EEUU)	400
Puertos y manejo terminal (EEUU)	400
Total	3.330

Fuente: World Bank

Estas estimaciones no incluyen el flete de transporte marítimo, por lo que se toma de los datos de referencia de Proexport, el cual indica que para un contenedor de 20 pies, el costo de transporte desde Port Everglades o Jacksonville Florida hasta el puerto de Cartagena es de USD\$1.462, resultando un costo de importación total igual a USD\$4.792.

Se resuelve realizar la estimación del costo total de importación usando la característica peso para estimar el costo importación por medio de la ecuación 5. Los resultados para las diferentes rutas se presentan en la tabla 14.

$$\text{Ecuación 5. Costo importación} = \frac{\text{Peso total (ton)}}{10} * 4.792$$

Tabla 14. Costo total de importaciones por ruta tecnológica.

Ruta tecnológica	Costo total COP
Ácido diluido	270.958.754,69
Solventes orgánicos	381.690.171,41
Explosión de vapor	59.069.643,58

El costo total de los equipos entonces estaría dado por la sumatoria del costo de adquisición y el costo de importación. El resultado de esta sumatoria se registra en la tabla 15.

Tabla 15. Costo total de la maquinaria y equipo de las tres rutas tecnológicas.

Ruta tecnológica	Costo de adquisición de la maquinaria (COP)	Costo de importación (COP)	Costo total de la maquinaria (COP)
Ácido diluido	63.344.877.976,06	270.958.754,69	63.615.836.730,75
Solventes orgánicos	33.558.084.793,28	381.690.171,41	33.939.774.964,69
Explosión de vapor	34.178.121.093,33	59.069.643,58	34.237.190.736,92

6.3.4 Descripción de los insumos.

Los insumos y sus costos se registran en la tabla 16.

Tabla 16. Insumos

Insumo	Unidad de compra	Costo unitario (COP)	Proveedor
Ácido sulfúrico (H_2SO_4)	t	200.000	Monómeros-Productos Químicos Panaméricanos
Cal hidratada ($\text{Ca}(\text{OH})_2$)	t	150.000	Procecal - Calco
Soda caustica (NaOH)	t	680.751	Mexichem- Monómeros

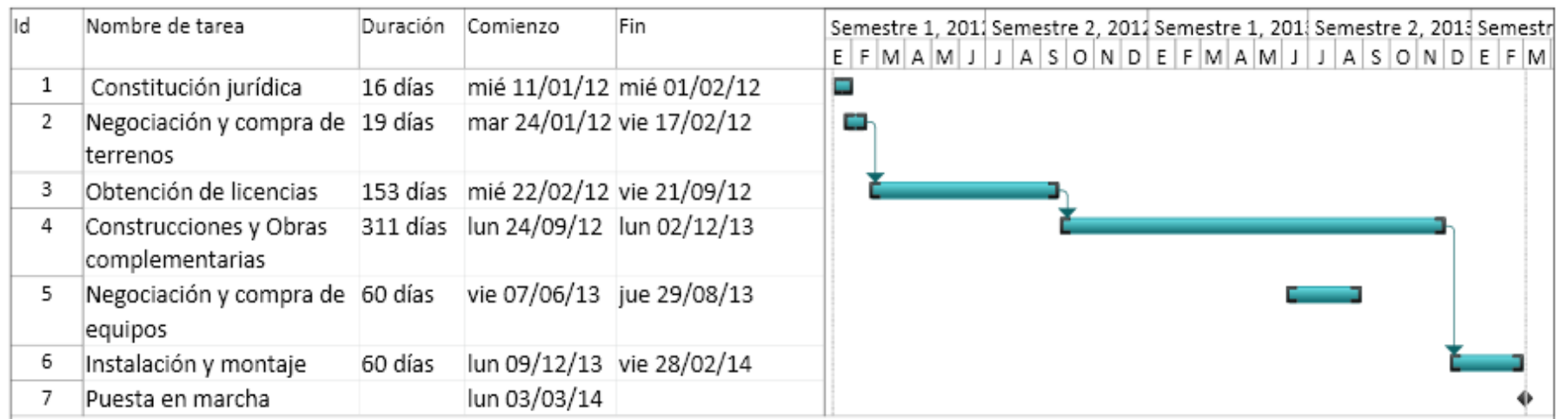
Tabla 16. (Continuación)

Insumo	Unidad de compra	Costo unitario (COP)	Proveedor
Agua	m ³	2.029	AMB S.A E.S.P
Gas natural	m ³	12,59	Fenosa
Energía Eléctrica	kW	461,47	ESSA S.A E.S.P
Celulasas	kg	22.597,96	American Laboratories
Mic. Mucor indicus	kg	4.000	BOC Sciences
Mic. S. ceverisiae	kg	4.000	BOC Sciences

6.4 CRONOGRAMA DE REALIZACIÓN.

De acuerdo a los resultados obtenidos del estudio técnico se realiza el cronograma de las actividades previas a la puesta en marcha de la planta, el cual inicia con la solicitud de constitución legal de la empresa el miércoles 11 de Enero de 2012 y culmina con el inicio de las actividades productivas el lunes 3 de marzo de 2014. El cronograma de actividades se muestra en la figura 1.

Figura 1. Cronograma de realización.



7. PRESUPUESTO DE INVERSIONES

7.1 INVERSIONES FIJAS

Las inversiones fijas necesarias para la operación de la planta están descritas a continuación.

7.1.1 Terreno.

Se resuelve comprar dos hectáreas de terreno en el sector Tienda Nueva del municipio de Betulia. El costo de acuerdo al promedio departamental dado en el avalúo catastral³⁴ corresponde a COP\$ 7.000.000. El terreno cuenta con vía de acceso, fuentes hídricas naturales y servicios públicos.

7.1.2 Construcciones y obras civiles.

El valor de las construcciones requeridas se estima como el 5% de la inversión de capital fijo³⁵. El resultado para cada una de las rutas se relaciona en la tabla 17.

Tabla 17. Costo total de obras civiles por ruta tecnológica.

Ruta tecnológica	Costo de obras (COP)
Ácido diluido	3.351.439.828,04
Solventes orgánicos	1.789.436.577,19
Explosión de vapor	1.805.090.038,89

³⁴ Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Avalúo catastral de tierras rurales 2012. Citado por la UNIDAD DE PLANEACIÓN RURAL AGROPECUARIA. Mercado de tierras rurales productivas en Colombia. Bogotá D.C. 2013. p. 44.

³⁵ PETERS, Max. TEMMERHAUS Klaus D, Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Second Ed. New York, 1991, p. Cap. 4.

7.1.3 Vehículos.

Se decide comprar un vehículo con el que se pretende satisfacer la necesidad de movilidad de miembros de la organización para atender imprevistos, asuntos administrativos, de ventas o transportar carga cuyo peso no exceda 1 tonelada. De acuerdo a las necesidades se debe comprar un vehículo automotor cero kilómetros, tipo camioneta y de doble cabina. En el cuadro 21 se muestran características de automóviles disponibles en el mercado que cumplen con las condiciones establecidas.

Cuadro 21. Características de los automóviles.

Marca	Modelo	Potencia [hp]	Capacidad de carga [kg]	Precio [COP]*
Chevrolet	D-Max Cabina Doble 4x2	130	1.090	\$ 69,290,000
Ford	F-150 Super Cab	365	1.560	\$82.500.000
Mazda	BT-50 DC DIESEL	140,9	1.093	\$69.900.000
Nissan	ZNA Rich 2014	107	1.000	\$48.990.000

* Los precios se tomaron de la página web de las empresas.

Debido al precio de adquisición más bajo se decide comprar la camioneta Nissan ZNA Rich 2014.

7.1.4 Muebles y enseres.

Los muebles y enseres se calculan de acuerdo a los requerimientos de los trabajadores. Las cotizaciones se realizan en la página web de Homecenter® y se relacionan en la tabla 18.

Tabla 18. Listado de muebles y enseres.

Muebles y enseres	Cantidad	Costo unitario [COP]	Costo total [COP]
Escritorios	2	400.000	800.000
Mesas de trabajo	5	300.000	1.500.000
Sillas gerentes	2	300.000	600.000
Sillas de escritorios	5	144.900	724.500
Sillas para atención	5	40.000	200.000
Papeleras	5	9.900	49.500
Archivador	1	300.000	300.000
Extintores	2	44.900	89.800
Botiquín	1	79.900	79.900
Total enseres área administrativa			4.343.700
Mesas de trabajo	7	300.000	2.100.000
Sillas de escritorio	7	.900	1.014.300
Papeleras	7	9.900	69.300
Extintores	2	44.900	89.800
Botiquín	1	79.900	79.900
Total enseres área operativa			3.353.300

7.1.5 Equipos de oficina.

El requerimiento de equipos de oficina se calcula de acuerdo al número de trabajadores y sus necesidades, los costos se relacionan en la tabla 19.

Tabla 19. Equipos de oficina.

Equipo	Cantidad	Valor unitario [COP]	Valor total [COP]	Proveedor
Computadores	7	1.856.877	12.998.139	DELL
Impresora multifunción	1	6.061.272	6.061.272	DELL
Teléfono conmutador	1	174.900	174.900	CISCO
Teléfonos	4	78.900	315.600	CISCO
Video Beam	1	1.360.541	1.360.541	DELL
Total equipos administración			20.916.452	
Computadores	9	1.856.877	16.711.893	DELL
Impresora multifunción	1	561.232	561.232	DELL
Teléfonos	5	78.900	394.500	CISCO
Total equipos área de operación			17.667.625	

7.2 INVERSIONES DIFERIDAS

Está constituida por el costo de instalación de los equipos, los costos de constitución de la empresa y un monto para imprevistos, los cuales serán diferidos a cinco años.

Los costos de instalación de los equipos se estiman utilizando factores de instalación dados por el NREL, los cuales permiten calcular el valor de la instalación de la maquinaria como porcentaje del precio compra. Estos factores fueron calculados por el NREL utilizando información dada por proveedores. Los costos totales de instalación por ruta tecnológica se relacionan en la tabla 20, mientras que los costos de instalación por equipo y ruta tecnológica se encuentran en los anexos G, H, I.

Tabla 20. Costo total de instalación por ruta tecnológica (COP)

Ruta tecnológica	Costo de instalación (COP)
Ácido diluido	33.370.527.556,9
Explosión de vapor	6.449.973.854,7
Solventes orgánicos	13.256.933.411,33

Los gastos de constitución de la empresa, se calcularon con base en las estadísticas del Banco Mundial para la ciudad de Bucaramanga, los cuales se presentan en la tabla 21.

Tabla 21. Gastos de constitución

Costos de constitución	Valor
Impuesto de registro	8% del capital inicial
Estampillas pro-desarrollo	2% del capital inicial
Estampilla pro-UIS	1% del capital inicial
Costo de sistematización	17.740,00

Tabla 21. (Continuación)

Costos de constitución	Valor
Costo de compra de libros	12.000,00
Registro de libros	19.800,00
Ordenanza 012	37.790,00
Formulario de registro	4.000,00
Inscripción cámara de comercio	30.000,00
Certificado de existencia y representación legal	8.000,00

Fuente. Banco Mundial (online). Consultado: Julio 4 de 2014. Disponible en: <http://espanol.doingbusiness.org/data/exploreeconomies/colombia/sub/bucaramanga/topic/starting-a-business>

Los gastos totales de constitución de la empresa por ruta tecnológica se muestran en la tabla 22.

Tabla 22. Gastos totales de constitución.

Ruta tecnológica	Gasto total de constitución (COP)
Ácido diluido	205.596.714.359,39
Explosión de vapor	11.009.906.385,52
Solventes orgánicos	12.029.623.930,29

Siguiendo lo propuesto por Miranda³⁶, al tener cierta incertidumbre respecto de los costos diferidos en que se incurre, se define incluir costos por imprevistos, los cuales equivalen al 5% del total de los diferidos y se muestran en la tabla 23 para los tres procesos productivos.

³⁶ Miranda, Juan. Gestión de proyectos. MM editores. Bogotá. 2005. 5ª ed. p. 179.

Tabla 23. Costos por concepto de imprevistos por ruta tecnológica.

Proceso productivo	Imprevistos (COP)
Ácido diluido	1.668.526.378
Solventes orgánicos	662.846.670,5
Explosión de vapor	322.498.692,7

7.3 CAPITAL DE TRABAJO

“La inversión en capital de trabajo corresponde al conjunto de recursos necesarios, en forma de activos corrientes, para la operación normal del proyecto durante un ciclo productivo”³⁷. Así pues, para el cálculo de este rubro se tienen en cuenta los costos de producción, y los gastos administrativos y de ventas para un mes de operación.

7.4 COSTOS DE PRODUCCIÓN

Los costos de producción también llamados de operación, son las erogaciones necesarias para mantener la línea de producción de bioetanol en funcionamiento. Para el cálculo de éstos se tuvieron en cuenta los costos relacionados directamente con la producción de etanol, los cuales se agruparon en directos e indirectos.

7.4.1 Costo directo de producción.

Para el cálculo de los costos directos de operación se tiene en cuenta la materia prima y la mano de obra directa del primer año. Para los siguientes años de la

³⁷ Miranda, Juan. Gestión de proyectos. MM editores. Bogotá.2005. 5ª ed. p. 182.

proyección los costos directos se incrementan de acuerdo a la tasa inflación anual pronosticada por análisis de series de tiempo.

Las series de tiempo se estudian con el software de análisis de riesgo @Risk, utilizando el criterio de información Akaike. El criterio de información de Akaike (AIC, por sus siglas en ingles), mide el desajuste entre una distribución hipotética y una distribución teórica. La ventaja significativa de este criterio es que mantiene el equilibrio entre la complejidad del modelo seleccionado (Número de parámetros) y la minimización del desajuste entre el modelo teórico y el estimado, además, “su cálculo se realiza desde un punto de vista predictivo lo que supone que los modelos identificados a partir de este criterio tienen un buen comportamiento respecto a la predicción”³⁸.

Al analizar la serie de tiempo para la inflación, se concluye que para pronosticar la inflación es conveniente utilizar los datos históricos mensuales de los últimos 10 años (2004-2013), a consecuencia de que este periodo de tiempo se considera mejor representante del comportamiento actual de la economía Colombiana; además, utilizar los datos históricos anuales disponibles (1955-2013) agregaría demasiado ruido al ajuste. Los datos históricos utilizados para pronosticar la inflación se encuentran en el Anexo J.

El análisis de la serie de tiempo arroja que el modelo que pronostica de manera más acertada la tasa de inflación es el promedio móvil autoregresivo de primer orden (ARMA, por sus siglas en inglés), denotado por RiskARMA11($\mu; \sigma; a_1; b_1; Y_0; \mathcal{E}_0$). Donde, μ corresponde a la media, σ al parámetro de volatilidad, b_1 es el coeficiente autorregresivo de promedio móvil, Y_0 el valor en el tiempo cero y $\mathcal{E}_0$ el error inicial.

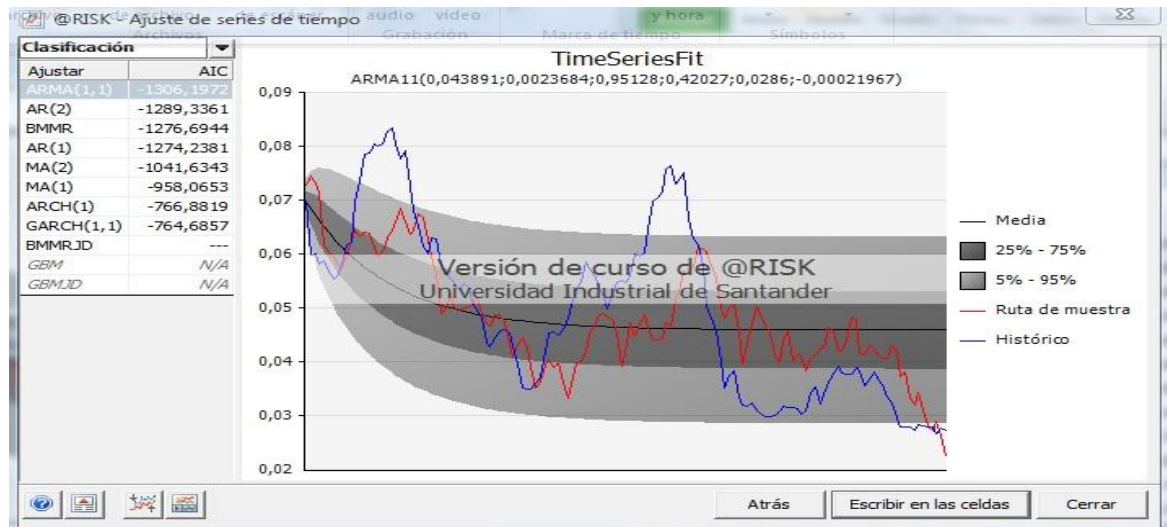
³⁸ MARQUEZ, Maria. Modelo setar aplicado a la volatilidad de la rentabilidad de las acciones: algoritmos para su identificación [Online]. Tesis doctoral en ciencias (Matemáticas). Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Estadística i Investigació Operativa. 2002. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10803/6503>

En la tabla 24 se presentan los valores de los parámetros dados por @Risk, para la generación del proceso ARMA11, mientras la figura 2 muestra gráficamente la serie de tiempo original y una muestra generada por el modelo.

Tabla 24. Parámetros para el proceso de promedio móvil autorregresivo para la tasa de inflación.

Parámetro	Valor
μ	0,043891
Σ	0,0023684
a1	0,95128
b1	0,42047
Y_0	0,0286
ϵ_0	-0,00021967

Figura 2. Ajuste de serie de tiempo de la inflación en @Risk.



Dada la periodicidad mensual de la serie de tiempo, utilizando @Risk se promedian los valores arrojados a rangos de 12 meses en mil iteraciones, para ajustar su comportamiento anual a una distribución estadística.

En el ajuste de la inflación anual a una distribución estadística, se tiene en cuenta el criterio de información Akaike y con la prueba de Anderson-Darling (A-D) se calcula el valor p del ajuste, el cual al ser mayor que el nivel de significancia 0,05 confirmará que el ajuste realizado es un buen representante de la población estudiada. Se resuelve utilizar la prueba A-D debido que al ser más sensible en las colas que el test Kolmogorov-Smirnov genera mejores ajustes³⁹, y de igual manera, es más potente que la prueba Chi-cuadrado cuando se estudian variables continuas, puesto que no es necesario agrupar los datos⁴⁰. En adelante se utilizan estos criterios para realizar los ajustes necesarios. Los resultados de los ajustes se muestran en el cuadro 22.

Cuadro 22. Distribuciones anuales de la inflación.

Año	Distribución	Media	Desviación estándar	Nivel de confianza de parámetro	Valor p
2014	Normal	0,0311055	0,0039329	0,95	0,564
2015	Normal	0,0368392	0,0085394	0,95	0,23
2016	Normal	0,0404246	0,0097264	0,95	0,449
2017	Normal	0,042195	0,010205	0,95	0,22
2018	Normal	0,0426071	0,0094391	0,95	0,82
2019	Normal	0,0432809	0,0097316	0,95	0,147
2020	Normal	0,043521	0,0094746	0,95	0,868
2021	Normal	0,0435026	0,0094742	0,95	0,726
2022	Normal	0,0438061	0,0098049	0,95	0,409
2023	Normal	0,0434812	0,0098808	0,95	0,824

³⁹ NIST/SEMATECH. e-Handbook of Statistical Method:Anderson-Darling Test. Information Technology Laboratory. Citado: Julio 5 de 2014. Disponible en: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35e.htm>

⁴⁰ Adaptado de. CANAVOS. George C. Probabilidad y estadística: aplicaciones y métodos. Naucalpan de Juarez (Mexico): Mc-Graw-Hill. 1988. 667 p. ISBN 0-316-12778-7.

7.4.1.1. Materiales directos.

La materia prima en la producción de bioetanol de segunda generación en este proyecto es el raquis y la fibra, los cuales son subproductos de la extracción de aceite de palma. Estos tal como surgen del proceso de extracción de aceite no poseen valor comercial, debido a que el raquis se devuelve a los cultivos para ser usado como abono y la fibra se utiliza para combustión en calderas, por lo que se decide estimar el valor comercial de éstos como un conjunto, con una estructura de precios que consta de dos factores. El primer factor corresponde al valor de compra de la materia prima y se define para la simulación variable con un costo anual pronosticado por análisis de serie de tiempo. El segundo factor corresponde al costo de transporte, éste se calcula para el primer año y su crecimiento anual se determina por la inflación.

A. Determinación del factor precio de materia prima.

Se decide calcular el precio de compra de la materia prima como porcentaje del costo del **racimo de fruta fresca** (RFF), este porcentaje corresponde al potencial energético contenido en el raquis y la fibra respecto del potencial contenido en el total del racimo, como se muestra en la ecuación 6.

$$\text{Ecuación 6. } \text{COSTO MP} = \left(\frac{\text{POTENCIAL ENERGÉTICO}_{MP}}{\text{POTENCIAL ENERGÉTICO}_{RFF}} * \text{COSTO RFF} \right)$$

En estudios realizados por CENIPALMA, se determinó que el raquis y la fibra contiene el 29% del total del potencial energético del racimo, por lo que la ecuación 6, se reescribe en la ecuación 7.

$$\text{Ecuación 7. } \text{COSTO MP} = (29\% * \text{COSTO RFF})$$

Por ejemplo, la extractora INDUPALMA publica en su página web, el precio de la tonelada de fruto de palma en \$ 320,535 para abril de 2014. Si se le compra a

INDUPALMA el raquis y la fibra en el periodo mencionado, entonces este factor del costo de MP tendría un precio igual a $(0,29)*(320.535) = \$92.955,15$.

Se decide que el precio de compra de la materia prima será proyectado para su utilización en el análisis financiero con base en datos históricos del precio del racimo de fruta fresca. A causa de la insuficiente disponibilidad de información sobre los precios del racimo de fruta fresca, se resuelve calcular los datos para la realización del análisis de series de tiempo.

A1. Cálculo del histórico de precios del racimo de fruta fresca en Colombia.

El precio del racimo de fruta fresca (PRFF) en Colombia se determinó igual al 17% de la sustracción de la cesión de estabilización de precios (CEP) del indicador de precios para el mercado Colombiano (IPM), como se muestra en la ecuación 8⁴¹.

Ecuación 8. $PRFF = [IPM - CEP] * 17\%$

En la base de datos de Fedepalma se encuentran los valores históricos de la cesión de precios para el sector palmero (CEP), los cuales se presentan en el Anexo K, por su parte, el indicador de precios del mercado (IPM) no se encuentra registrado, razón por la cual se calcula siguiendo el método establecido por el Comité Directivo Del Fondo De Estabilización De Precios Para El Palmiste.

⁴¹ DANE. Cuenta satélite piloto de la agroindustria de la palma de aceite: Palma en desarrollo, en producción y su primer nivel de transformación 2005-2010 (2012). 77p.

A1.1. Cálculo del indicador de precios del mercado (IPM).

Como se indica en la ecuación 9, el indicador de precios para el mercado de consumo Colombiano corresponde al mínimo valor entre el indicador de paridad de importación a Colombia del aceite crudo de palma (IPMmcpo) y el de una canasta de sustitutos (IPMcsus) compuesta por el aceite de soya crudo, el sebo blanqueado fancy importado y la estearina de palma importada⁴².

Ecuación 9. $IPM = \text{Min}\{IPMmcpo; IPMcsus\}$

Debido a la complejidad en la consecución de la información histórica necesaria para el cálculo del indicador de la canasta de sustitutos se define el indicador IPM igual al indicador IPMmcpo, el cual corresponde al indicador de paridad de importación a Colombia del aceite crudo de palma producido en Malasia, cuyos valores históricos se muestran en el Anexo K. Así pues la ecuación 8 se modifica siendo remplazada por la ecuación 10.

Ecuación 10. $PRFF = [IPMmcpo - CEP] * 17\%$

Los valores históricos para el precio del racimo de fruta fresca, así como los de la materia prima, también se relacionan en el Anexo k.

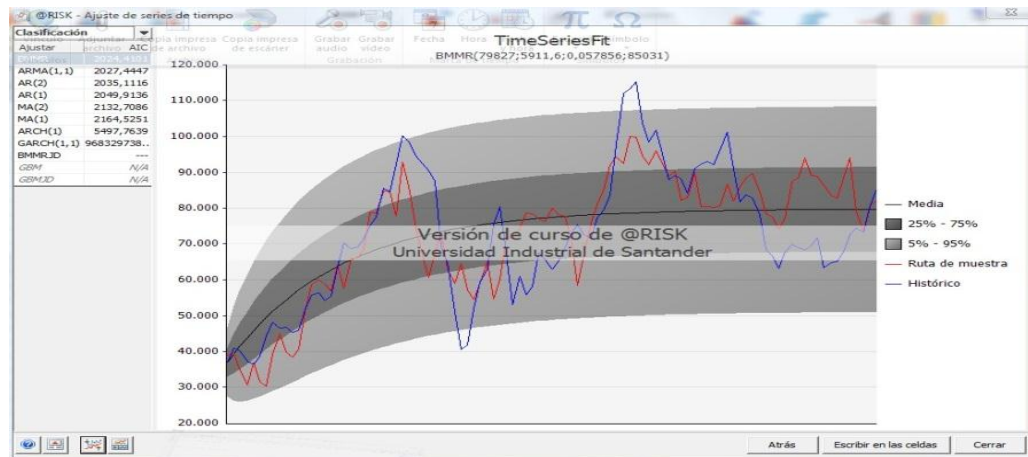
Utilizando el histórico estimado del precio de la materia prima, se realiza análisis de series de tiempo para calcular los valores futuros de este factor. El resultado obtenido indica que el modelo que mejor pronostica los valores de los precios mensuales de la materia prima es el Movimiento Browniano con Proceso de Reversión a la Media denotado por BMMR (μ, σ, α, Y_0). Los valores de los parámetros del BMMR se listan en el cuadro 23 y la figura 3 muestra gráficamente la serie de tiempo original y una muestra generada por el modelo.

⁴²COLOMBIA. COMITÉ DIRECTIVO DEL FONDO DE ESTABILIZACIÓN DE PRECIOS PARA EL PALMISTE, EL ACEITE DE PALMA Y SUS FRACCIONES. ACUERDO N° 218 (30, Abril 2012), Por el cual se establece la metodología ex post para el cálculo de las Operaciones de Estabilización.

Cuadro 23. Parámetro del modelo de serie de tiempo para el precio de la materia prima.

Símbolo	Descripción	Valor
μ	Media	79827
σ	Parámetro de volatilidad	5911,6
α	Parámetro de velocidad de reversión	0,057856
Y_0	Valor en tiempo cero	85031

Figura 3. Ajuste de serie de tiempo para precio de la materia prima.



Como las proyecciones que arroja el Movimiento Browniano son de periodicidad mensual, estas fueron analizadas en rangos anuales (12 meses), con mil iteraciones y ajustadas a distribuciones estadísticas. Los resultados se muestran en el cuadro 24.

Cuadro 24. Distribuciones estadísticas del precio anual de la materia prima en (COP/Tonelada)

Año	Tipo de distribución	Media (μ)	Desviación Estándar (σ)	Nivel de confianza	Valor p
2014	Normal	83872,7	9904,8	0,95	0,256
2015	Normal	81890	14601	0,95	0,406
2016	Normal	81208	14890	0,95	0,127
2017	Normal	80707	15846	0,95	0,52
2018	Normal	80118	15628	0,95	0,97
2019	Normal	80086	15960	0,95	0,827
2020	Normal	79893	15889	0,95	0,207
2021	Normal	80080	15750	0,95	0,587
2022	Normal	80102	15937	0,95	0,273
2023	Normal	79716	15559	0,95	0,39

B. Determinación del factor costo de transporte.

Para el cálculo de los costos de transporte de materia prima, se utiliza el promedio del costo de transporte de racimos de fruta fresca en poblaciones del departamento de Santander obtenido por Cadena⁴³ et, al. En el anexo L se encuentran registrados los fletes por comunidad y tonelada transportada, encontrados por el autor mencionado.

Debido a la similitud de la carga y a la zona de influencia se determina el uso del valor promedio del flete 2.801,15 (COP/t), para el cálculo del valor promedio de transporte de la materia prima.

⁴³ Cadena, María. Jaraba, Jenny. Plan de negocio para la creación de una unidad estratégica de transporte de fruto de palma africana en extractora San Fernando s.a. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisico-mecánicas. 2014. 139 p.

En resumen, el costo total de la materia prima se conforma como se muestra en la ecuación 11.

Ecuación 11.

$$\begin{aligned} \text{COSTO MP} &= \text{Costo de la compra de materia prima} \\ &+ \text{Costo de transporte de materia prima} \\ &= X \sim N(\mu; \sigma) + [2.801,15 * \text{cantidad de MP (t)}] \end{aligned}$$

7.4.1.2. Mano de obra directa.

El costo de mano de obra incluye los sueldos de los operarios cuyo trabajo está asociado a la línea de producción. El valor del salario mínimo legal vigente (SMLV) en Colombia y las prestaciones sociales y aportes parafiscales se muestran en la tabla 25. El incremento anual del costo de la mano de obra será mínimo 5% e igual a la tasa de inflación cuando esta supere el 5%.

Tabla 25. Salario Mínimo Mensual Legal Vigente y prestaciones sociales.

Concepto	Valor
Salario mínimo (SMLV) 2014	\$ 616.000
Auxilio de transporte	\$ 72.000
Pensión	(12%) SB
Salud	(8,5%) SMLV
Riesgos profesionales	(1,044%) SB
CCF	(4%) SB
Cesantías	(SB+AT)
Intereses a las cesantías	(12%) Cesantías
Prima de servicios	SB+AT
Vacaciones	(50%) SB

Fuente: Ministerio del trabajo

La mano de obra se divide en mano de obra directa e indirecta. Para el cálculo de la mano de obra directa, se utiliza la metodología propuesta por Peters &

Timmerhaus mostrada en la tabla 26, donde se indica el número de operarios mínimo necesarios en la línea de producción por equipo.

Tabla 26. Requerimiento mínimo de Operarios.

Equipos de proceso	Nº de Operarios
Evaporadores	0,3
Torres de enfriamiento	0,5
Secadores	0,5
Compresores	0,15
Intercambiadores	0,1
Torres	0,35
Reactores	0,5
Trituradores	0,5
Tanques	0

Fuente: PETERS, Max. TEMMERHAUS Klaus D. Plant Design and Economics for Chemical Engineers.

Tras aplicar la metodología de Peters & Timmerhaus a las tres rutas, se obtuvo el número mínimo de operarios requeridos por turno en la línea de producción. Dada la naturaleza continua del proceso se decide laborar 3 turnos cada uno de 8 horas. El trabajo de los operarios de carga se enfoca en almacenar la materia prima proveniente de los proveedores y disponerla en la tolva, donde se da inicio la línea de producción. El número de trabajadores y sus correspondientes salarios se muestran en la tabla 27,28 y 29.

Tabla 27. Salarios de Mano de obra directa de la ruta tecnológica del Ácido Diluido.

Equipo	Número de equipos	Trabajadores por turno	Turnos	Salario unitario	Salario total	Salario + prestaciones
Reactor	4	2	3			
Condensadores	3	0,3	3			
Intercambiadores de calor	2	0,2	3			
Triturador	1	0,5	3			
Tanques	9	0	3			
Secador	1	0,5	3			
Torres	2	0,7	3			
Total operarios de línea		5	3	1.200.000	18.000.000	27.900.000
Total operarios de carga		3	3	1.200.000	10.800.000	16.740.000

Tabla 28. Salarios de Mano de obra directa de la ruta tecnológica de explosión de Vapor.

Equipo	Número de equipos	Trabajadores por turno	Turnos	Salario unitario	Salario total	Salario + prestaciones
Reactor	2	1	3			
Condensadores	4	0,4	3			
Intercambiadores de calor	1	0,1	3			
Triturador	1	0,5	3			
Tanques	6	0	3			
Secador	1	0,5	3			
Torres	2	0,7	3			
Operarios de línea		4	3	1.200.000	14.400.000	22.320.000
Operarios de carga		3	3	1.200.000	10.800.000	16.740.000

Tabla 29. Salarios de Mano de obra directa de la ruta tecnológica solventes orgánicos.

Equipo	Número de equipos	Trabajadores por turno	Turnos	Salario unitario	Salario total	Salario + prestaciones
Reactor	2	1	3			
Condensadores	5	0,5	3			
Intercambiadores de calor	2	0,2	3			
Triturador	1	0,5	3			
Tanques	11	0	3			
Secador	1	0,5	3			
Torres	2	0,7	3			
Operarios de línea		4	3	1.200.000	14.400.000	22.320.000
Operarios de carga		3	3	1.200.000	10.800.000	16.740.000

7.4.2 Costos indirectos de fabricación (CIF).

Están conformados por los suministros, mano de obra indirecta (MOI), servicios públicos, y otros costos.

7.4.2.1. Suministros.

Incluye los materiales, reactivos químicos, microorganismos y enzimas necesarios para convertir el raquis de palma de aceite en bioetanol. Los suministros se registran en el cuadro 25

Cuadro 25. Suministros.

Suministro	Acido diluido Costo Insumo COP/galón etanol	Organosolv Costo Insumo COP/galón etanol	Explosión de vapor Costo Insumo COP/galón etanol
Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	2.685,54	201,3693723	---
Cal hidratada (Ca(OH) ₂)	494,69	202,1563557	---
Soda Caustica (NaOH)	6.598,05	---	---
S. Cerevisiae	443,62	968,3436997	550,1544703
Enzima Celulasa	758,56	2000,724631	4171,189288
Mucor Indicus	398,13	673,6971223	939,5744481
Agua	227,52	86,09574416	255,4096732
Energía Eléctrica	306,72	249,8459211	296,7241979
Gas Natural	740,76	54,2686895	302,4129253
Gasolina	100,00	305,6938566	390,4844039

7.4.2.2. Mano de obra indirecta.

Corresponde a los cargos de gerente de planta, ingeniero de planta, supervisor de mantenimiento, supervisor de turno, técnico de mantenimiento y empleados de campo, estos salarios se estiman utilizando promedios nacionales de ingresos, calculados por el observatorio laboral para la Educación. El costo mensual de la mano de obra indirecta es igual para las 3 rutas y se muestra en la tabla 30.

Tabla 30. Costo mensual de la mano de obra indirecta por ruta tecnológica.

Mano de obra indirecta	Trabajadores	Salario (COP)	Salario total	Salario + prestaciones (COP)
Gerente de planta	1	2.132.260	2.132.260	3.305.003
Ingeniero de planta	2	1.164.900	2.329.800	3.611.190
Supervisor de mantenimiento	1	1.715.448	1.715.448	2.658.944
Director de laboratorio	1	1.205.480	1.205.480	1.868.494
Supervisor de turno	3	1.621.338	4.864.014	7.539.222
Técnico de laboratorio	2	1.046.290	2.092.580	3.243.499
Técnico de mantenimiento	3	1.046.290	3.138.870	4.865.249
Total MOI	13		17.478.452	27.091.601

7.4.2.3. Depreciación.

Para cada una de las rutas se usó el método de depreciación en línea recta, donde el activo pierde la misma cantidad de valor anualmente. Se deprecian los activos fijos referentes a construcciones y obras civiles, maquinaria, enseres y equipos de oficina. Al mismo tiempo, el valor de salvamento se definió en un 10% del costo del bien. Los cálculos detallados se encuentran en el cuadro 26.

Cuadro 26. Depreciación en línea recta de las rutas tecnológicas.

Concepto	Depreciación Acido Diluido	Depreciación Vapor	Depreciación Organosolv
Construcciones y obras civiles			
Valor de obras civiles	3.351.439.828,04	1.805.090.038,89	1.789.436.577,19
Valor Salvamento	335.143.982,80	180.509.003,89	178.943.657,72
Vida útil	20,00	20,00	20,00
Depreciación Anual	150.814.792,26	81.229.051,75	80.524.645,97
Maquinaria			
Valor de la maquinaria	63.615.836.730,75	34.237.190.736,9	33.558.084.793,28
Valor Salvamento	6.361.583.673,08	3.423.719.073,69	3.355.808.479,33
Vida útil	10,00	10,00	10,00
Depreciación Anual	5.725.425.305,77	3.081.347.166,32 3.020.227.631,40	
Enseres			
Valor enseres	3.353.300,00	3.353.300,00	3.353.300,00
Valor Salvamento	335.330,00	335.330,00	335.330,00
Vida útil	10,00	10,00	10,00
Depreciación Anual	301.797,00	301.797,00	301.797,00
Equipos de oficina			
Valor Equipos de oficina	955.732,00	955.732,00	955.732,00
Valor Salvamento	95.573,20	95.573,20	95.573,20
Vida útil	10,00	10,00	10,00
Depreciación Anual	86.015,88	86.015,88	86.015,88
Computadores			
Valor computadores	16.711.893,00	16.711.893,00	16.711.893,00
Valor Salvamento	1.671.189,30	1.671.189,30	1.671.189,30
Vida útil	5,00	5,00	5,00
Depreciación Anual	3.008.140,74	3.008.140,74	3.008.140,74

7.4.2.4. Mantenimiento.

Incluye los materiales empleados para reparaciones incidentales y la revisión de maquinaria e infraestructura. Este valor se estima siguiendo la recomendación del NREL⁴⁴, el cual asume el valor del mantenimiento como el 2% del costo total de los equipos instalados en la planta y para los demás años el costo se aumenta de acuerdo a la inflación. El costo total por ruta tecnológica para el primer año se muestra en la tabla 31.

Tabla 31. Costo de mantenimiento por ruta tecnológica.

Ruta tecnológica	Costo de mantenimiento (COP)
Ácido diluido	1.266.897.559,52
Solventes orgánicos	671.161.695,87
Explosión de vapor	683.562.421,87

7.4.2.5. Impuestos.

La fábrica debe cumplir con el pago de los impuestos relacionados en la tabla 32.

Tabla 32. Impuestos establecidos por ley.

Concepto	Descripción
Impuesto sobre la renta.	25%, sobre la renta
Impuesto sobre la renta para la equidad.	9% hasta el 2015, 8% a partir del 2016
Impuesto de industria y comercio	1%
Impuesto predial	0,2% -3%

Fuente: Proexport.

⁴⁴ A. ADEN, M. RUTH, K. IBSEN, J. JECHURA, K. NEEVES, J. SHEEHAN, B. WALLACE, L. MONTAGUE, A. SLAYTON, and J. LUKAS, "Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover," 2002.

7.4.2.6. Seguro de fábrica.

El valor del seguro contra riesgos de la planta de producción se calcula de acuerdo a lo establecido por el NREL⁴⁵, el cual estima este costo en 1,5% del costo total de los equipos instalados. Este seguro otorga cobertura a la obra civil, la maquinaria, equipos y enseres. El valor del costo se presenta en la tabla 33.

Tabla 33. Valor del seguro de la fábrica.

Ruta tecnológica	Costo maquinaria total	Valor del seguro
Ácido diluido	63.615.836.730,75	954.237.550,96
Solventes orgánicos	33.939.774.964,69	509.096.624,47
Explosión de vapor	34.237.190.736,92	513.557.861,05

7.4.3 Costo ambiental.

Es el costo en el que se incurre por la emisión de sustancias nocivas al medio ambiente, este costo se ve representado en el tratamiento de efluentes, tecnologías de captura de dióxido de carbono y otros. Con la inclusión de este monto se pretende vincular las externalidades ambientales a la evaluación financiera. Este costo se calcula utilizando la información registrada en los cuadros 7 y 11 del capítulo 5. Los valores obtenidos por ruta tecnológica se presentan en el cuadro 27.

⁴⁵ A. ADEN, M. RUTH, K. IBSEN, J. JECHURA, K. NEEVES, J. SHEEHAN, B. WALLACE, L. MONTAGUE, A. SLAYTON, and J. LUKAS, "Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover," 2002.

Cuadro 27. Costo ambiental.

Categoría de impacto	Sustancia de referencia	Unidad	Solventes orgánicos*	Ácido diluido*	Explosión de vapor*
Calentamiento Global	CO2	Kg	206,035927	360,55936	94,3010589
Acidificación	SO2	Kg	17,94380849	142,54427	6,62411622
Agotamiento de la Capa de Ozono	CFC-11	Kg	0,004912774	0,2374507	0,00107073
Oxidación fotoquímica	Etileno	Kg	22,81981965	152,81129	18,4392293
Eutrofización	Fósforo	Kg	0,017888324	0,0119841	0,00446329
Energía no renovable	ENR	MJ	15059,13072	19649,746	1679,32124
Total costo ambiental (COP/gal)			15.305,95	20.305,91	1.798,69

*1 kilogramo de etanol equivale a 2,996 galones.

7.5 GASTOS DE ADMINISTRACIÓN

Representa el valor devengado por el desenvolvimiento administrativo de la compañía, comprende el sueldo del personal administrativo, la depreciación de activos fijos y otros gastos de administración.

7.5.1 Salario personal administrativo.

Comprende los sueldos del gerente general, personal de recurso humano, de logística, secretaría y otros; estimados en la tabla 34.

Tabla 34. Gasto mensual del personal administrativo.

Personal administrativo	Trabajadores	salario	salario total	salario Prestaciones
Gerente general	1	2.132.260	2.132.260	3326325,6
Secretarios	3	1.030.657	3.091.971	4823474,76
Servicio general	6	845.603	5.073.618	7914844,08
Jefe de talento humano	1	1.621.338	1.621.338	2529287,28
Jefe de logística	1	1.621.338	1.621.338	2529287,28
Total	12		13.540.525	21.123.219

7.5.2 Depreciación.

Se trata de la depreciación de los muebles, equipos de cómputo, de oficina y otros enseres del área administrativa. La depreciación anual para las tres rutas se observa en el cuadro 28.

Cuadro 28. Depreciación de los activos fijos y por ruta tecnológica.

Concepto	Depreciación Acido Diluido	Depreciación Vapor	Depreciación Organosolv
Enseres			
Valor de enseres	4.343.700,00	4.343.700,00	4.343.700,00
Valor Salvamento	434.370,00	434.370,00	434.370,00
Vida útil	10,00	10,00	10,00
Depreciación Anual	390.933,00	390.933,00	390.933,00
Equipos			
Valor de equipos	12.998.139,00	12.998.139,00	12.998.139,00
Valor Salvamento	1.299.813,90	1.299.813,90	1.299.813,90
Vida útil	6.294.387,10	10,00	10,00
Depreciación Anual	1.169.832,51	1.169.832,51	1.169.832,51
Computadores			
Valor de computadores	7.918.313,00	7.918.313,00	7.918.313,00
Valor Salvamento	791.831,30	791.831,30	791.831,30
Vida útil	5,00	5,00	5,00
Depreciación Anual	1.425.296,34	1.425.296,34	1.425.296,34
Vehículo			
Valor vehículo	48.990.000	48.990.000	48.990.000
Valor Salvamento	4.899.000,00	4.899.000,00	4.899.000,00
Vida útil	5,00	5,00	5,00
Depreciación Anual	8.818.200,00	8.818.200,00	8.818.200,00

7.5.2.1. Servicios.

Para calcular el gasto de los servicios de telefonía e internet se realizaron cotizaciones con Movistar, Claro y Telebucaramanga. Solo Telebucaramanga

tiene disponibilidad para prestar sus servicios hasta la localidad de Betulia Santander. La cotización se realizó vía virtual para una pyme con los servicios de telefonía ilimitada y velocidad de navegación de 10 (Mbit/s). En el cuadro 29 se muestra el costo de los servicios de telecomunicaciones por mes. La cotización detallada se encuentra en el anexo M.

Cuadro 29. Gasto mensual de servicios de telecomunicaciones.

Servicio	Región	Empresa prestadora del servicio	Tarifa	Unidades
Telefonía	Betulia	Telebucaramanga	\$ 45.280	(COP\$/mes)
Internet	Betulia	TeleBucaramanga	\$ 75.168	(COP\$/mes)

Fuente: Telebucaramanga.

El gasto mensual en agua potable en el área administrativa se obtiene del producto de la tarifa de agua COP\$ 2.029/ m³ y el nivel de consumo básico para municipios cálidos⁴⁶ 18 m³/usuario/mes. El cual da como resultado un gasto igual a COP 36.522 /mes.

Por otra parte el gasto en energía eléctrica se estima de acuerdo a la información reportada por Campos⁴⁷ et al, la cual indica que el porcentaje de energía no asociada a la producción, para empresas ubicadas en la ciudad de Barranquilla, oscila entre un mínimo de 7,15% y un máximo de 66,87% del total del consumo de la empresa. Se determina utilizar esta información dado que la planta de producción se ubica en el mismo piso térmico que la ciudad de Barranquilla; al

⁴⁶ ANGEL, Jorge. ROZO, Javier. HERNÁNDEZ, Lorena. VALDERRAMA Darío. Estimación del consumo básico de agua potable en Colombia. Bogotá D.C: Comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico. 2011. P.35.

⁴⁷ CAMPOS, Juan. PRIAS, Omar. MERIÑO, Lourdes. CHARRIS, Inés. LORA, Edgar. CORREA, Zuly. RIAÑO, Francisco. Caracterización del uso de la energía en un agrupamiento industrial de la ciudad de Barranquilla. Barranquilla D.E.I.P: Universidad del Atlántico, Energía Eficiente, Empresas de Acueducto de Bogotá. Revista Energía y Computación, Vol 14, N° 2. 2006. p. 31-39.

mismo tiempo, se decide aplicar el mínimo porcentaje, puesto que usar un porcentaje mayor, haría incurrir en gastos excesivos en este rubro, debido a la gran demanda de energía eléctrica del proceso. El valor del gasto de energía eléctrica mensual por ruta tecnológica se presenta en la tabla 35.

Tabla 35. Gasto mensual en energía eléctrica.

Ruta Tecnológica	Consumo de Energía eléctrica producción (kW)	consumo de energía eléctrica administración (kW)	Gasto energía eléctrica (COP/mes)
Acido Diluido	163,2452363	2011,336029	928.171,24
Organosolv	110,0736107	1356,211208	625.850,79
Explosión de vapor	104,5057252	1287,609582	594.193,19

7.6 GASTO DE VENTAS

El gasto de ventas está conformado por el salario del jefe de ventas.

7.6.1 Salario de ventas.

El salario del jefe de ventas se define de acuerdo a las estadísticas del Observatorio Laboral para la Educación, el cual indica que el promedio de salario para un profesional con especialización incluyendo prestaciones sociales es COP\$4.223.705.

7.7 INGRESOS

La empresa obtiene sus ingresos exclusivamente de la venta de galones de Etanol, al precio estipulado por el Ministerio de Minas y Energía. La capacidad de producción del primer año dado los procesos de entrenamiento se determina en 80% de la capacidad diseñada y el crecimiento anual de la producción se establece de acuerdo a las estadísticas de Fedebiocombustibles.

Debido a la poca información disponible sobre la tasa de crecimiento anual de las ventas nacionales de etanol, se decide utilizar una distribución triangular, la cual proporciona una aproximación a la tasa de crecimiento, a partir de un valor mínimo, un valor máximo y el más probable, los cuales representan los escenarios pesimista, optimista y con mayor probabilidad respectivamente.

Los datos de ventas nacionales anuales se encuentran en el anexo N. El valor mínimo corresponde a la tasa más baja de crecimiento de las ventas en los últimos 8 años, así mismo el valor máximo corresponde a la tasa de crecimiento más alta, y el valor más probable, a la tasa de crecimiento promedio. Los valores se muestran en la tabla 36.

Tabla 36. Parámetros de la distribución triangular de la tasa de crecimiento de ventas.

Parámetro	Valor
Más probable	7,20%
Mínimo	-13,68%
Máximo	36,93%

Para pronosticar el precio de venta anual, se analiza el comportamiento histórico del precio del etanol, utilizando análisis de series de tiempo para calcular los valores futuros de este factor, pero debido a la escasez de datos anuales se considera el comportamiento mensual del precio de venta desde el año 2006. Los

datos históricos del precio de venta del galón de etanol se encuentran en el Anexo O.

El resultado obtenido indica que el modelo que mejor pronostica los valores de los precios mensuales de venta, es el movimiento Browniano con un proceso de reversión a la media BMMR (μ ; σ ; α ; Y_0); los parámetros que determinan el movimiento son presentados en el cuadro 30.

Cuadro 30. Parámetros del modelo de serie de tiempo para el precio de venta mensual.

Símbolo	Descripción	Valor
μ	Media	7.192,9
σ	Parámetro de volatilidad	343,17
α	Parámetro de velocidad de reversión	0,028597
Y_0	Valor en tiempo cero	6554

Como los precios generados por el modelo son mensuales se decide utilizar @Risk para promediar los valores por rango de 12 meses y ajustar el comportamiento de este a una distribución estadística. Las distribuciones estadísticas obtenidas se muestran en la tabla 37.

Tabla 37. Distribuciones anuales de precios de venta en COP/ galón de etanol.

Año	Tipo de distribución	Media	Desviación	Nivel de confianza	Valor p
2014	Normal	6645,62	646,59	0,95	0,669
2015	Normal	6782,9	1050,7	0,95	0,331
2016	Normal	6885,4	1221	0,95	0,1885
2017	Normal	6988,9	1266	0,95	0,435
2018	Normal	7061,2	1327	0,95	0,758
2019	Normal	7085,5	1338,1	0,95	0,614
2020	Normal	7117,4	1358,9	0,95	0,641
2021	Normal	7139,6	1345,7	0,95	0,982
2022	Normal	7171,2	1359,3	0,95	0,675
2023	Normal	7191,5	1403,3	0,95	0,818

8. EVALUACIÓN FINANCIERA

En este capítulo se utilizan indicadores de rentabilidad pertinentes para determinar la viabilidad financiera de los procesos productivos en dos escenarios, en un primer escenario se excluyen los costos asociados a las externalidades ambientales, mientras en el otro se vinculan, de esta manera, al comparar los dos escenarios se pueda identificar el impacto del costo ambiental en la evaluación financiera.

Utilizando los flujos de dinero calculados en el presupuesto de inversión, se evalúa la Tasa Interna de Retorno (TIR), la cual se define como la “Tasa que equipara el valor presente de los ingresos, con el valor presente de los egresos”⁴⁸. Para analizar este indicador, se utiliza la tasa de descuento igual a 12,132%, porcentaje calculado por Sánchez⁴⁹ para el sector de producción de petróleo y gas en Colombia. Para la deducción de la tasa de descuento, Sánchez parte del modelo de precios de activos de capital (CAPM, por sus siglas en inglés), utilizando el método propuesto por Damodaran⁵⁰ calcula la prima de riesgo y realiza los ajustes necesarios para calcular el mayor riesgo percibido en Colombia para diversos sectores de la economía.

De igual forma se estudia el Valor Presente Neto (VPN), el cual corresponde a la diferencia entre el valor presente de los ingresos y el valor presente de los egresos. Para descontar estos flujos se utiliza la tasa de descuento estipulada anteriormente. Un VPN positivo indica que la inversión en la ruta tecnológica debe realizarse, en el caso contrario, la inversión no se debe realizar.

⁴⁸ Miranda, Juan. Gestión de proyectos. MM editores. Bogotá. 2005. 5ª ed. Pág. 179.

⁴⁹ SANCHEZ, Jairo. La tasa de descuento en países emergentes aplicación al caso Colombiano. Bogotá: Revista EAN N°69. 2010

⁵⁰ DAMODARAN, Aswath. Country Default Spreads and Risk Premiums(Online). Consultado (27 de Julio de 2014). Disponible: http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/ctryprem.html

Además, se calculará el tiempo de recuperación de la inversión por medio del indicador payback ajustando los flujos futuros de dinero con la tasa de descuento 12,132%. Finalmente se utiliza la herramienta financiera EVA, para conocer si la empresa genera valor en el tiempo.

Para la realización de la evaluación financiera se utiliza el software @Risk, el cual desarrolla análisis de riesgos aplicando simulación de Monte Carlo.

8.1 SIMULACIÓN DE MONTE CARLO

El riesgo está vinculado a todas las decisiones financieras, a pesar de la disponibilidad de información no se puede predecir con exactitud el futuro. El método de Monte Carlo permite observar los posibles resultados de las decisiones y evaluar el riesgo de éstas, por lo tanto, posibilita un mejor marco para la toma de decisiones. En este orden de ideas, se emplea la simulación de Monte Carlo para calcular el valor medio más probable y la dispersión de los indicadores de rentabilidad.

Se desarrolla el método Monte Carlo siguiendo los pasos mencionados a continuación.

- Definir variables de entrada.
- Proyección del estado de resultados.
- Construcción del flujo de caja.
- Cálculo de los valores medios y de la dispersión de los indicadores de rentabilidad.

8.1.1 Definición de variables de entrada

Los comportamientos de las variables de entrada fueron determinados en capítulos anteriores, en este apartado solo se mencionan. Las variables de entrada del sistema se presentan en el cuadro 31.

Cuadro 31. Variables de entrada.

Variable	Descripción del comportamiento	Cuentas impactadas
Inflación	Normalmente distribuido con media y desviación estándar anual.	Costos de producción, Gastos de administración
Precio de compra de materia prima	Normalmente distribuido con media y desviación estándar anual.	Costo de la materia prima
Precio de venta	Normalmente distribuido con media y desviación estándar anual.	Ingresos
Tasa de crecimiento de las ventas	Triangular	Ingresos

8.1.2 Proyección del estado de resultados (ER)

Para realizar la proyección del estado de resultados se definen los siguientes aspectos.

- Horizonte del proyecto: 10 años.
- Financiación: 100% capital de inversionistas.
- Rotación de cartera: 30 días.
- Tasa de reinversión: 10%.

Los criterios de proyección para las diferentes cuentas se especifican en el capítulo anterior.

En las tablas 38, 39 y 40 se muestra la estructura del estado de resultado de las tres rutas tecnológicas sin incluir los costos por externalidades ambientales, mientras que, las tablas 41, 42 y 43 muestran el estado de resultados incluyendo los costos ambientales.

Tabla 38. Proyección del estado de resultado de la ruta tecnológica solventes orgánicos.

Concepto	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ingresos	7,509E+11	8,666E+11	9,980E+11	1,073E+12	1,118E+12	1,162E+12	1,207E+12	1,252E+12	1,297E+12	1,341E+12
Costos	7,163E+11	8,111E+11	9,242E+11	9,886E+11	1,028E+12	1,071E+12	1,115E+12	1,162E+12	1,211E+12	1,262E+12
Mano de obra	4,687E+08	4,875E+08	5,070E+08	5,272E+08	5,483E+08	5,703E+08	5,931E+08	6,168E+08	6,415E+08	6,671E+08
Materia prima	3,115E+10	3,357E+10	3,672E+10	3,766E+10	3,745E+10	3,750E+10	3,748E+10	3,763E+10	3,772E+10	3,762E+10
CIF	6,846E+11	7,771E+11	8,870E+11	9,504E+11	9,904E+11	1,032E+12	1,077E+12	1,124E+12	1,172E+12	1,224E+12
Utilidad bruta	3,462E+10	5,543E+10	7,378E+10	8,421E+10	8,919E+10	9,182E+10	9,201E+10	8,985E+10	8,574E+10	7,932E+10
Gastos administrativos	2,789E+08	2,920E+08	3,059E+08	3,204E+08	3,358E+08	3,518E+08	3,687E+08	3,865E+08	4,051E+08	4,246E+08
Utilidad operacional	3,434E+10	5,514E+10	7,348E+10	8,389E+10	8,885E+10	9,147E+10	9,165E+10	8,946E+10	8,534E+10	7,890E+10
intereses	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00	0,000E+00
U.A.I.I	3,434E+10	5,514E+10	7,348E+10	8,389E+10	8,885E+10	9,147E+10	9,165E+10	8,946E+10	8,534E+10	7,890E+10
Impuestos (35,2%)	1,209E+10	1,941E+10	2,586E+10	2,953E+10	3,128E+10	3,220E+10	3,226E+10	3,149E+10	3,004E+10	2,777E+10
Utilidad neta	2,225E+10	3,573E+10	4,761E+10	5,436E+10	5,758E+10	5,927E+10	5,939E+10	5,797E+10	5,530E+10	5,113E+10
Reserva legal (10%)	3,434E+09	5,514E+09	7,348E+09	8,389E+09	8,885E+09	9,147E+09	9,165E+09	8,946E+09	8,534E+09	7,890E+09
Utilidades retenidas (10%)	1,209E+09	1,941E+09	2,586E+09	2,953E+09	3,128E+09	3,220E+09	3,226E+09	3,149E+09	3,004E+09	2,777E+09
Utilidad del ejercicio	1,761E+10	2,828E+10	3,768E+10	4,302E+10	4,556E+10	4,690E+10	4,700E+10	4,588E+10	4,376E+10	4,046E+10

Tabla 39. Proyección del estado de resultados de la ruta tecnológica ácido diluido.

Concepto	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ingresos	5,6E+11	6,1E+11	6,6E+11	7,1E+11	7,7E+11	8,4E+11	9,0E+11	9,8E+11	1,1E+12	1,1E+12
Costos	1,7E+12	1,9E+12	2,0E+12	2,2E+12	2,3E+12	2,5E+12	2,8E+12	3,0E+12	3,2E+12	3,5E+12
Mano de obra	5,4E+08	5,6E+08	5,8E+08	6,0E+08	6,3E+08	6,5E+08	6,8E+08	7,1E+08	7,4E+08	7,7E+08
Materia prima	3,4E+10	3,9E+10	4,4E+10	4,8E+10	5,3E+10	5,8E+10	6,4E+10	6,9E+10	7,5E+10	8,1E+10
CIF	1,7E+12	1,8E+12	2,0E+12	2,1E+12	2,3E+12	2,5E+12	2,7E+12	2,9E+12	3,2E+12	3,4E+12
Utilidad bruta	-1,2E+12	-1,2E+12	-1,3E+12	-1,5E+12	-1,6E+12	-1,7E+12	-1,9E+12	-2,0E+12	-2,2E+12	-2,4E+12
Gastos administrativos	4,0E+10	4,1E+10	4,3E+10	4,5E+10	4,6E+10	4,8E+10	5,0E+10	5,2E+10	5,4E+10	5,6E+10
Utilidad operacional	-1,2E+12	-1,3E+12	-1,4E+12	-1,5E+12	-1,6E+12	-1,8E+12	-1,9E+12	-2,1E+12	-2,3E+12	-2,5E+12
intereses										
U.A.I.I	-1,2E+12	-1,3E+12	-1,4E+12	-1,5E+12	-1,6E+12	-1,8E+12	-1,9E+12	-2,1E+12	-2,3E+12	-2,5E+12
Impuestos (35,2%)										
Utilidad neta	-1,2E+12	-1,2E+12	-1,2E+12	-1,2E+12	-1,2E+12	-1,2E+12	-1,2E+12	-1,2E+12	-1,2E+12	-1,2E+12
Reserva legal (10%)										
Utilidades retenidas (10%)										
Utilidad del ejercicio	-1,2E+12	-1,2E+12	-1,2E+12	-1,2E+12	-1,2E+12	-1,2E+12	-1,2E+12	-1,2E+12	-1,2E+12	-1,2E+12

Tabla 40. Proyección del estado de resultados de la ruta tecnológica explosión de vapor.

Concepto	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ingresos	6,04E+11	6,58E+11	7,15E+11	7,76E+11	8,41E+11	9,09E+11	9,70E+11	1,01E+12	1,04E+12	1,08E+12
Costos	6,59E+11	7,08E+11	7,65E+11	8,28E+11	8,98E+11	9,74E+11	1,04E+12	1,09E+12	1,14E+12	1,19E+12
Mano de obra	4,69E+08	4,87E+08	5,07E+08	5,27E+08	5,48E+08	5,70E+08	5,93E+08	6,17E+08	6,41E+08	6,67E+08
Materia prima	3,45E+10	3,91E+10	4,36E+10	4,83E+10	5,31E+10	5,82E+10	6,27E+10	6,57E+10	6,86E+10	7,15E+10
CIF	6,24E+11	6,69E+11	7,21E+11	7,79E+11	8,45E+11	9,15E+11	9,81E+11	1,02E+12	1,07E+12	1,11E+12
Utilidad bruta	-5,52E+10	-5,06E+10	-4,97E+10	-5,22E+10	-5,74E+10	-6,47E+10	-7,39E+10	-8,35E+10	-9,48E+10	-1,08E+11
Gastos administrativos	2,73E+10	2,84E+10	2,95E+10	3,07E+10	3,19E+10	3,32E+10	3,41E+10	3,41E+10	3,42E+10	3,42E+10
Utilidad operacional	-8,25E+10	-7,90E+10	-7,93E+10	-8,29E+10	-8,93E+10	-9,79E+10	-1,08E+11	-1,18E+11	-1,29E+11	-1,43E+11
intereses										0,00E+00
U.A.I.I	-8,25E+10	-7,90E+10	-7,93E+10	-8,29E+10	-8,93E+10	-9,79E+10	-1,08E+11	-1,18E+11	-1,29E+11	-1,43E+11
Impuestos (35,2%)										
Utilidad neta	-8,25E+10	-8,25E+10	-8,25E+10	-8,25E+10	-8,25E+10	-8,25E+10	-8,25E+10	-8,25E+10	-8,25E+10	-8,25E+10
Reserva legal (10%)										
Utilidades retenidas (10%)										
Utilidad del ejercicio	-8,25E+10	-8,25E+10	-8,25E+10	-8,25E+10	-8,25E+10	-8,25E+10	-8,25E+10	-8,25E+10	-8,25E+10	-8,25E+10

Tabla 41. Proyección del estado de resultados de la ruta tecnológica solventes orgánicos incluyendo el costo ambiental.

Concepto	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ingresos	7,51E+11	8,67E+11	9,98E+11	1,07E+12	1,12E+12	1,16E+12	1,21E+12	1,25E+12	1,30E+12	1,34E+12
Costos	2,42E+12	2,75E+12	3,14E+12	3,36E+12	3,50E+12	3,65E+12	3,81E+12	3,97E+12	4,14E+12	4,32E+12
Mano de obra	4,69E+08	4,87E+08	5,07E+08	5,27E+08	5,48E+08	5,70E+08	5,93E+08	6,17E+08	6,41E+08	6,67E+08
Materia prima	3,12E+10	3,36E+10	3,67E+10	3,77E+10	3,75E+10	3,75E+10	3,75E+10	3,76E+10	3,77E+10	3,76E+10
CIF	6,85E+11	7,77E+11	8,87E+11	9,50E+11	9,90E+11	1,03E+12	1,08E+12	1,12E+12	1,17E+12	1,22E+12
Costo externalidades	1,71E+12	1,94E+12	2,22E+12	2,37E+12	2,47E+12	2,58E+12	2,69E+12	2,81E+12	2,93E+12	3,06E+12
Utilidad bruta	-1,67E+12	-1,88E+12	-2,14E+12	-2,29E+12	-2,39E+12	-2,49E+12	-2,60E+12	-2,72E+12	-2,84E+12	-2,98E+12
Gastos administrativos	2,79E+08	2,92E+08	3,06E+08	3,20E+08	3,36E+08	3,52E+08	3,69E+08	3,86E+08	4,05E+08	4,25E+08
Utilidad operacional	-1,67E+12	-1,88E+12	-2,14E+12	-2,29E+12	-2,39E+12	-2,49E+12	-2,60E+12	-2,72E+12	-2,85E+12	-2,98E+12
intereses										
U.A.I.I	-1,67E+12	-1,88E+12	-2,14E+12	-2,29E+12	-2,39E+12	-2,49E+12	-2,60E+12	-2,72E+12	-2,85E+12	-2,98E+12
Impuestos (35,2%)										
Utilidad neta	-1,08E+12	-1,22E+12	-1,39E+12	-1,48E+12	-1,55E+12	-1,61E+12	-1,68E+12	-1,76E+12	-1,84E+12	-1,93E+12
Reserva legal (10%)										
Utilidades retenidas (10%)										
Utilidad del ejercicio	-8,67E+11	-8,67E+11	-8,67E+11	-8,67E+11	-8,67E+11	-8,67E+11	-8,67E+11	-8,67E+11	-8,67E+11	-8,67E+11

Tabla 42. Proyección del estado de resultados de la ruta tecnológica ácido diluido incluyendo el costo ambiental.

Concepto	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ingresos	5,55608E+1 1	6,0539E+1 1	6,5824E+1 1	7,1436E+1 1	7,7393E+1 1	8,3712E+1 1	9,0413E+1 1	9,7515E+1 1	1,0504E+1 2	1,1301E+1 2
Costos	4,41E+12	4,73E+12	5,10E+12	5,52E+12	5,98E+12	6,49E+12	7,04E+12	7,64E+12	8,29E+12	9,00E+12
Mano de obra	5,36E+08	5,57E+08	5,78E+08	6,01E+08	6,26E+08	6,53E+08	6,81E+08	7,11E+08	7,42E+08	7,74E+08
Materia prima	3,45E+10	3,91E+10	4,36E+10	4,83E+10	5,31E+10	5,82E+10	6,35E+10	6,92E+10	7,51E+10	8,14E+10
CIF	1,69E+12	1,81E+12	1,96E+12	2,12E+12	2,29E+12	2,49E+12	2,70E+12	2,93E+12	3,17E+12	3,44E+12
Costo externalidades	2,68E+12	2,88E+12	3,10E+12	3,36E+12	3,64E+12	3,94E+12	4,28E+12	4,64E+12	5,04E+12	5,47E+12
Utilidad bruta	-3,85E+12	-4,12E+12	-4,44E+12	-4,81E+12	-5,21E+12	-5,65E+12	-6,14E+12	-6,66E+12	-7,24E+12	-7,87E+12
Gastos administrativos	3968021934 3	4,1267E+1 0	4,2918E+1 0	4,4634E+1 0	4,6419E+1 0	4,8266E+1 0	5,0197E+1 0	5,2206E+1 0	5,4294E+1 0	5,6466E+1 0
Utilidad operacional	-3,89E+12	-4,17E+12	-4,49E+12	-4,85E+12	-5,26E+12	-5,70E+12	-6,19E+12	-6,72E+12	-7,29E+12	-7,92E+12
intereses										
U.A.I.I	-3,89E+12	-4,17E+12	-4,49E+12	-4,85E+12	-5,26E+12	-5,70E+12	-6,19E+12	-6,72E+12	-7,29E+12	-7,92E+12
Impuestos (35,2%)										
Utilidad neta	-3,89E+12	-3,89E+12	-3,89E+12	-3,89E+12	-3,89E+12	-3,89E+12	-3,89E+12	-3,89E+12	-3,89E+12	-3,89E+12
Reserva legal (10%)										
Utilidades retenidas (10%)										
Utilidad del ejercicio	-3,89E+12	-3,89E+12	-3,89E+12	-3,89E+12	-3,89E+12	-3,89E+12	-3,89E+12	-3,89E+12	-3,89E+12	-3,89E+12

Tabla 43. Proyección del estado de resultados de la ruta tecnológica explosión de vapor incluyendo el costo ambiental.

Concepto	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Ingresos	6,04E+11	6,58E+11	7,15E+11	7,76E+11	8,41E+11	9,09E+11	9,70E+11	1,01E+12	1,04E+12	1,08E+12
Costos	8,20E+11	8,81E+11	9,51E+11	1,03E+12	1,12E+12	1,21E+12	1,30E+12	1,36E+12	1,41E+12	1,48E+12
Mano de obra	4,69E+08	4,87E+08	5,07E+08	5,27E+08	5,48E+08	5,70E+08	5,93E+08	6,17E+08	6,41E+08	6,67E+08
Materia prima	3,45E+10	3,91E+10	4,36E+10	4,83E+10	5,31E+10	5,82E+10	6,27E+10	6,57E+10	6,86E+10	7,15E+10
CIF	6,24E+11	6,69E+11	7,21E+11	7,79E+11	8,45E+11	9,15E+11	9,81E+11	1,02E+12	1,07E+12	1,11E+12
Costo externalidades	1,61E+11	1,73E+11	1,87E+11	2,02E+11	2,19E+11	2,37E+11	2,54E+11	2,65E+11	2,77E+11	2,89E+11
Utilidad bruta	-2,16E+11	-2,24E+11	-2,36E+11	-2,54E+11	-2,76E+11	-3,02E+11	-3,28E+11	-3,49E+11	-3,72E+11	-3,97E+11
Gastos administrativos	2,73E+10	2,84E+10	2,95E+10	3,07E+10	3,19E+10	3,32E+10	3,41E+10	3,41E+10	3,42E+10	3,42E+10
Utilidad operacional	-2,44E+11	-2,52E+11	-2,66E+11	-2,85E+11	-3,08E+11	-3,35E+11	-3,62E+11	-3,83E+11	-4,06E+11	-4,32E+11
intereses										
U.A.I.I	-2,44E+11	-2,52E+11	-2,66E+11	-2,85E+11	-3,08E+11	-3,35E+11	-3,62E+11	-3,83E+11	-4,06E+11	-4,32E+11
Impuestos (35,2%)										
Utilidad neta	-2,44E+11	-2,44E+11	-2,44E+11	-2,44E+11	-2,44E+11	-2,44E+11	-2,44E+11	-2,44E+11	-2,44E+11	-2,44E+11
Reserva legal (10%)										
Utilidades retenidas (10%)										
Utilidad del ejercicio	-2,44E+11	-2,44E+11	-2,44E+11	-2,44E+11	-2,44E+11	-2,44E+11	-2,44E+11	-2,44E+11	-2,44E+11	-2,44E+11

En esta sección se realiza una interpretación del comportamiento de las utilidades sin incluir los costos ambientales, la cual se lleva a cabo con 1000 iteraciones, observando las gráficas de densidad de probabilidad que se obtienen en @Risk.

En la interpretación de los gráficos de densidad elaborados por @Risk se deben tener en cuenta, la leyenda para identificar la variable de salida a la que pertenece la gráfica y los porcentajes ubicados en la parte superior resaltados en los colores correspondientes a la curva, los cuales, indican la probabilidad de que ocurran los eventos a la derecha e izquierda del marcador (línea vertical). El marcador es móvil, por lo que su ubicación depende del indicador a analizar, en el caso de las utilidades, VPN y EVA se ubicará en cero y en el caso de la TIR se ubica en el porcentaje correspondiente a la tasa de descuento.

Los gráficos 2, 3 y 4 muestran un panorama primario de la viabilidad financiera de las tres rutas tecnológicas, al representar gráficamente el comportamiento de las utilidades generadas anualmente sin incluir los costos ambientales. En el gráfico 2, se evidencia que la ruta de solventes orgánicos presenta una probabilidad aproximada de 60% de obtener utilidades netas positivas a lo largo del tiempo. Este porcentaje no nos permite dilucidar la viabilidad del proyecto, por ende, se requiere un estudio financiero más completo.

Tal como muestra el gráfico 3, en aproximadamente el 70% de las iteraciones de la ruta tecnológica explosión de vapor, el costo de producción supera los ingresos por venta, lo que implica pérdidas, por lo cual, se concluye que esta ruta tecnológica no es viable financieramente. Por su parte, la ruta con pretratamiento de ácido diluido es la que reporta el comportamiento menos favorable, al reportar pérdidas en el 100% de los casos (gráfico 4). Por lo tanto, se infiere que esta ruta no es viable.

De acuerdo a las conclusiones obtenidas en este apartado se decide enfocar la evaluación financiera a la ruta de solventes orgánicos.

Gráfico 2. Densidad de la probabilidad de la utilidad neta de la ruta tecnológica de solventes orgánicos.

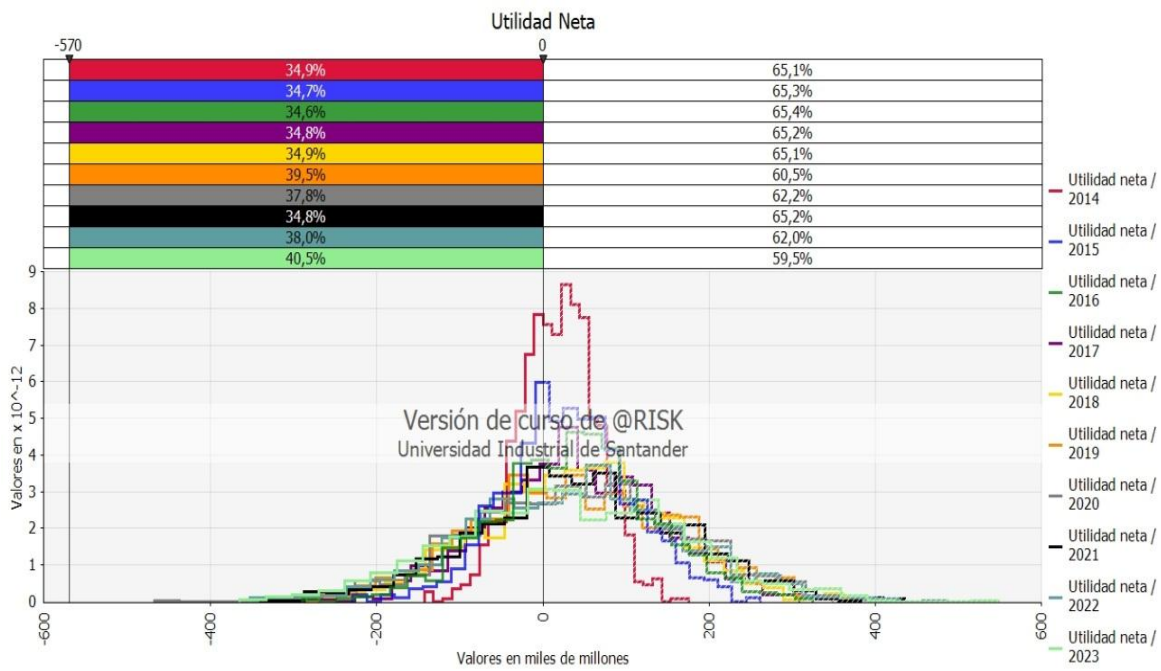


Gráfico 3. Densidad de la probabilidad de la utilidad bruta de la ruta tecnológica de explosión de vapor.

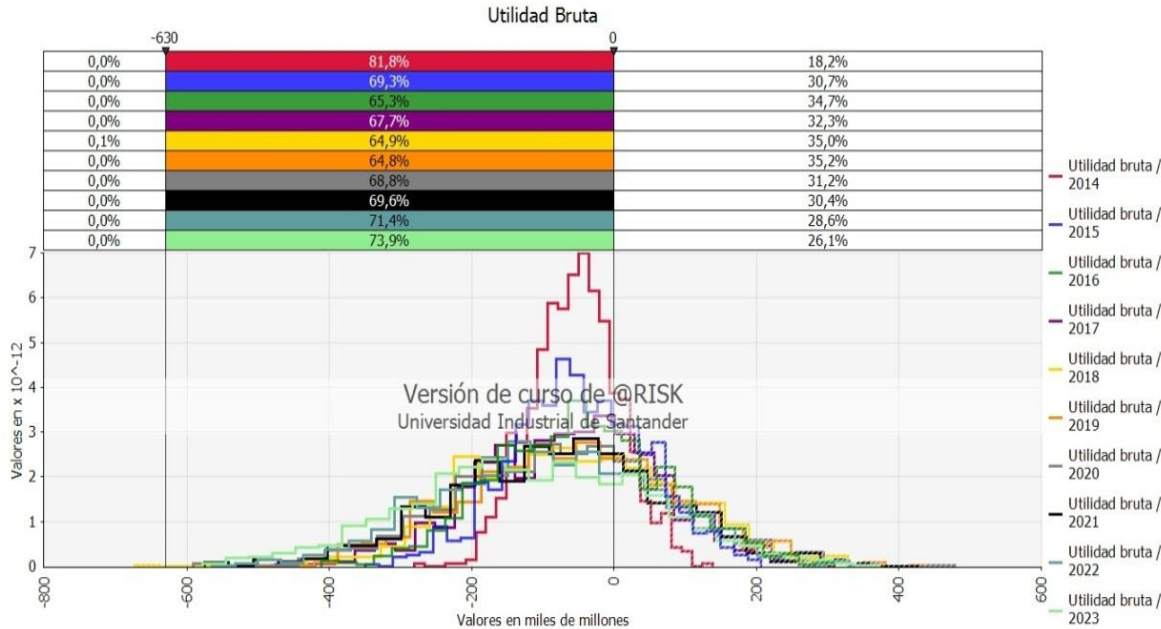
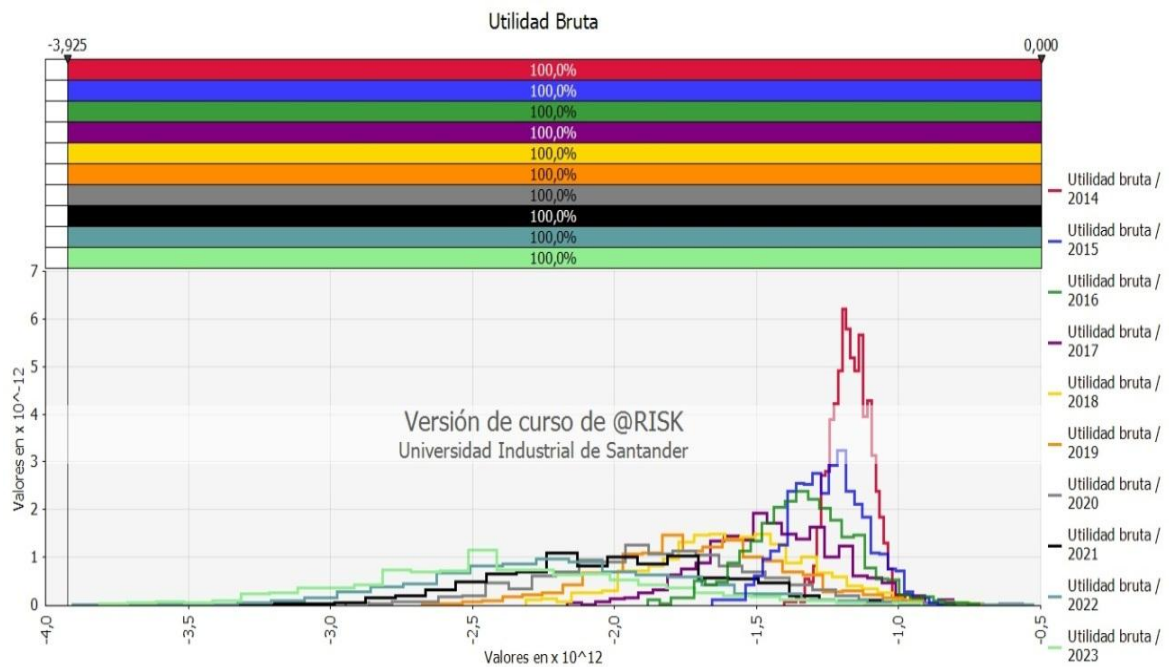


Gráfico 4. Densidad de probabilidad de la utilidad bruta de la ruta tecnológica de ácido diluido.



8.1.3 Flujo de caja.

“El flujo neto de caja es un esquema que presenta en forma orgánica y sistemática cada una de las erogaciones e ingresos líquidos registrados período por período”⁵¹. El flujo de caja es la base de cálculo de los indicadores de rentabilidad, con los cuales se evalúa la factibilidad financiera de la obtención de etanol mediante pretratamiento de solventes orgánicos. En el cuadro 32 se muestra la estructura del flujo de caja de la ruta solventes orgánicos, mientras el cuadro 33 presenta el flujo de caja incluyendo los costos por externalidades ambientales.

⁵¹ Miranda, Juan. Gestión de proyectos. MM editores. Bogotá. 2005. 5ª ed. Capítulo 9. Pág. 6.

Cuadro 32. Flujo de caja de la producción de bioetanol mediante pretratamiento de solventes orgánicos.

FLUJO DE CAJA	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Flujo de Caja Operativo											
Utilidad neta		2,0E+10	2,9E+10	3,5E+10	3,9E+10	4,2E+10	4,4E+10	4,3E+10	4,0E+10	3,5E+10	2,9E+10
Depreciaciones		3,1E+09	3,1E+09	3,1E+09	3,1E+09	3,1E+09	3,1E+09	3,1E+09	3,1E+09	3,1E+09	3,1E+09
Amortización Gastos		5,2E+09	5,2E+09	5,2E+09	5,2E+09	5,2E+09	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00
Provisiones											
Impuestos		1,1E+10	1,6E+10	1,9E+10	2,1E+10	2,3E+10	2,4E+10	2,3E+10	2,2E+10	1,9E+10	1,6E+10
Neto Flujo de Caja Operativo		3,9E+10	5,3E+10	6,2E+10	6,9E+10	7,3E+10	7,0E+10	6,9E+10	6,5E+10	5,8E+10	4,8E+10
Flujo de Caja Inversión											
Inversión en costo de producción		-6,0E+10	-4,5E+09	-5,1E+09	-5,8E+09	-6,4E+09	-6,9E+09	-6,4E+09	-4,1E+09	-4,3E+09	-4,5E+09
Inversión en gastos de administración		-2,3E+07	-1,1E+06	-1,2E+06	-1,2E+06	-1,3E+06	-1,3E+06	-1,4E+06	-1,5E+06	-1,6E+06	-1,6E+06
Inversión en capital de Trabajo		-6,0E+10	-4,5E+09	-5,1E+09	-5,8E+09	-6,4E+09	-6,9E+09	-6,4E+09	-4,1E+09	-4,3E+09	-4,5E+09
Terreno	-7,0E+06										
Construcciones	-1,8E+09										
Maquinaria	-3,4E+10										
Enseres y equipos de oficina	-2,2E+07										
Computadores	-2,5E+07					-2,5E+07					
Vehículo	-4,9E+07					-4,9E+07					
Inversión Activos Fijos											
Neto Flujo de Caja Inversión	-3,5E+10	-6,0E+10	-4,5E+09	-5,1E+09	-5,8E+09	-6,4E+09	-6,9E+09	-6,4E+09	-4,1E+09	-4,3E+09	-4,5E+09
Liquidación de los activos fijo	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	7,4E+06	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	4,3E+09
Liquidación en capital de trabajo	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	0,0E+00	1,1E+11
(=) Flujo de caja	-3,5E+10	-2,1E+10	4,8E+10	5,7E+10	6,3E+10	6,7E+10	6,3E+10	6,3E+10	6,0E+10	5,3E+10	1,6E+11

Cuadro 33. Flujo de caja incluyendo el costo ambiental de la producción de bioetanol mediante pretratamiento organosolv.

FLUJO DE CAJA	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Flujo de Caja Operativo											
Utilidad neta		-1,67E+12	-1,88E+12	-2,14E+12	-2,29E+12	-2,39E+12	-2,49E+12	-2,60E+12	-2,72E+12	-2,85E+12	-2,98E+12
Depreciaciones		3,12E+09	3,12E+09	3,12E+09	3,12E+09	3,12E+09	3,12E+09	3,12E+09	3,12E+09	3,12E+09	3,12E+09
Amortización Gastos		5,18E+09	5,18E+09	5,18E+09	5,18E+09	5,18E+09	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Provisiones											
Impuestos		0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00	0,00E+00
Neto Flujo de Caja Operativo		-1,66E+12	-1,88E+12	-2,13E+12	-2,28E+12	-2,38E+12	-2,49E+12	-2,60E+12	-2,72E+12	-2,84E+12	-2,98E+12
Flujo de Caja Inversión											
Inversión en costo de producción		-2,02E+11	-2,29E+11	-2,62E+11	-2,80E+11	-2,92E+11	-3,04E+11	-3,17E+11	-3,31E+11	-3,45E+11	-3,60E+11
Inversión en gastos de administración		-2,32E+07	-2,43E+07	-2,55E+07	-2,67E+07	-2,80E+07	-2,93E+07	-3,07E+07	-3,22E+07	-3,38E+07	-3,54E+07
Inversión en capital de Trabajo		-2,02E+11	-2,29E+11	-2,62E+11	-2,80E+11	-2,92E+11	-3,04E+11	-3,17E+11	-3,31E+11	-3,45E+11	-3,60E+11
Terreno	-7,00E+06										
Construcciones	-1,79E+09										
Maquinaria	-3,36E+10										
Enseres y equipos de oficina	1,97E+07										
computadores	-8,79E+06					-1,67E+07					
Vehículo	-4,90E+07					-4,90E+07					
Inversión Activos Fijos	-3,54E+10					-7,36E+07					
Neto Flujo de Caja Inversión	-3,54E+10	-2,02E+11	-2,29E+11	-2,62E+11	-2,80E+11	-2,92E+11	-3,04E+11	-3,17E+11	-3,31E+11	-3,45E+11	-3,60E+11
Liquidación de los activos fijo						7,36E+06					4,27E+09
Liquidación en capital de trabajo											3,60E+11
(=) Flujo de caja	-3,54E+10	-1,87E+12	-2,11E+12	-2,39E+12	-2,56E+12	-2,67E+12	-2,79E+12	-2,91E+12	-3,05E+12	-3,19E+12	-2,97E+12

8.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Como se mencionó anteriormente, se realizó la simulación de Monte Carlo con 10.000 iteraciones a la ruta tecnológica con pretratamiento de solventes orgánicos. Los resultados obtenidos de la TIR, VPN, Payback ajustado y EVA, se analizan a continuación.

8.2.1 Tasa interna de retorno (TIR)

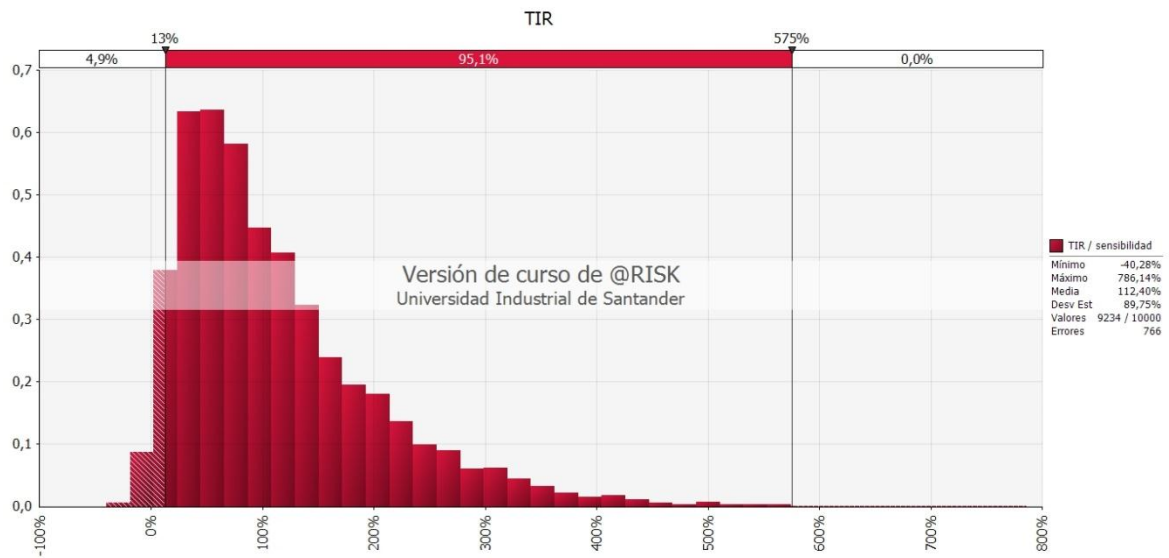
Tal como se muestra en el gráfico 5, la TIR en el escenario sin vincular las externalidades ambientales posee una media igual a 100,2% con una gran variabilidad que la lleva a alcanzar valores que van desde un mínimo de 40,28% hasta un máximo de 786,14%. Además la probabilidad de ser superior a la tasa de descuento (12,132) es de 95,1%. Desde este punto de vista, es aconsejable realizar la inversión en esta ruta tecnológica.

Por otra parte, al incluir las externalidades el software @RISK no logró estimar los valores para la TIR, debido a que no se satisfizo el nivel de exactitud estipulado por defecto (0,00001%). Por lo cual, se decide eliminar la interacción de la simulación y utilizar la media de las variables de la inflación, precio de compra de la materia prima y precio de venta del etanol. Utilizando la herramienta Solver de Excel se calculó la TIR para los tres escenarios de ventas, los resultados indican valores de TIR negativos lo que indica que al incluir los costos ambientales el proyecto no es financieramente viable. Los resultados se presentan en la tabla 44.

Tabla 44. TIR para escenario incluyente del costo ambiental.

Escenarios	Tasa de crecimiento de ventas	TIR
Optimista	36,93%	-5.454%
Más probable	7,2%	-5.273%
Pesimista	-13,68%	-5.294%

Gráfico 5. Densidad de tasa interna de retorno pretratamiento de solventes orgánicos.



8.2.2 Valor presente neto (VPN)

Los gráficos 6 y 7, representan el comportamiento del valor presente neto, excluyendo e incluyendo las externalidades ambientales. En estos se observa que en el primer caso la probabilidad de obtener un VPN superior a cero asciende a 93%, con un VPN medio igual a COP\$ 408.400 millones, lo que nuevamente indica un panorama favorable para este escenario. En cambio, el segundo caso indica un valor presente negativo en el 100% de las iteraciones, lo que vaticina un panorama totalmente desfavorable y se concluye que al incluir los costos por externalidades ambientales, la ruta tecnológica de solventes orgánicos **no es viable financieramente**.

Por otra parte, este indicador al igual que la TIR muestra alta variabilidad en su comportamiento, por lo que se decide estudiar el gráfico de tornado del análisis de sensibilidad para identificar las variables de entrada que están causando el cambio

del indicador. El gráfico 8, muestra el gráfico de tornado, el cual jerarquiza las variables de entrada de modo descendente según su impacto en el VPN, Las variables de entrada que poseen un mayor impacto sobre la distribución de la variable de salida poseerán las barras más largas en el gráfico.

El grafico indica que las variables precio de venta (PVE) son las principales causantes del cambio del VPN. Además, al realizar un análisis de escenarios, se encontró que las variables precio de venta 2015 a precio de venta 2019, son las causantes de un VPN superior a COP\$ 770.700 millones (percentil 90%). En cambio, la variable de entrada precio de venta 2014 (PVE2014) genera valores del VPN por debajo de COP\$ 222.200 millones (percentil 25%).

Gráfico 6. Densidad del valor presente neto (VPN).

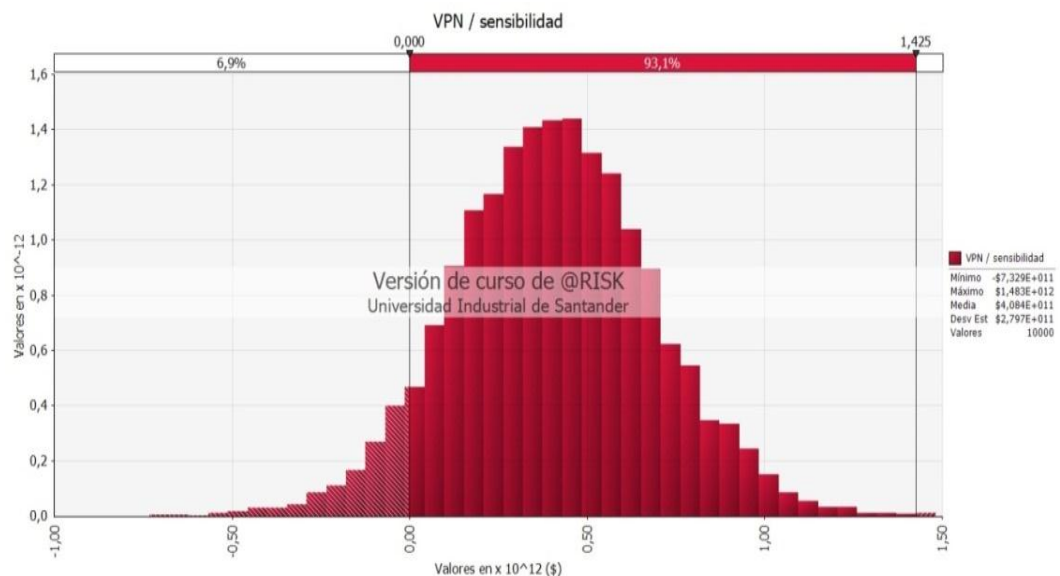


Gráfico 7. Densidad del valor presente neto (VPN) incluyendo las externalidades ambientales.

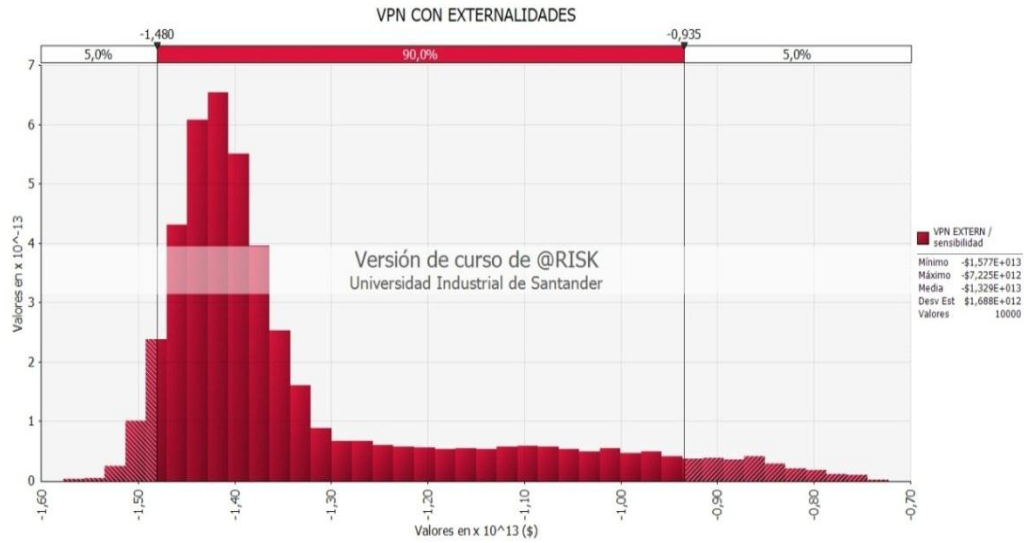
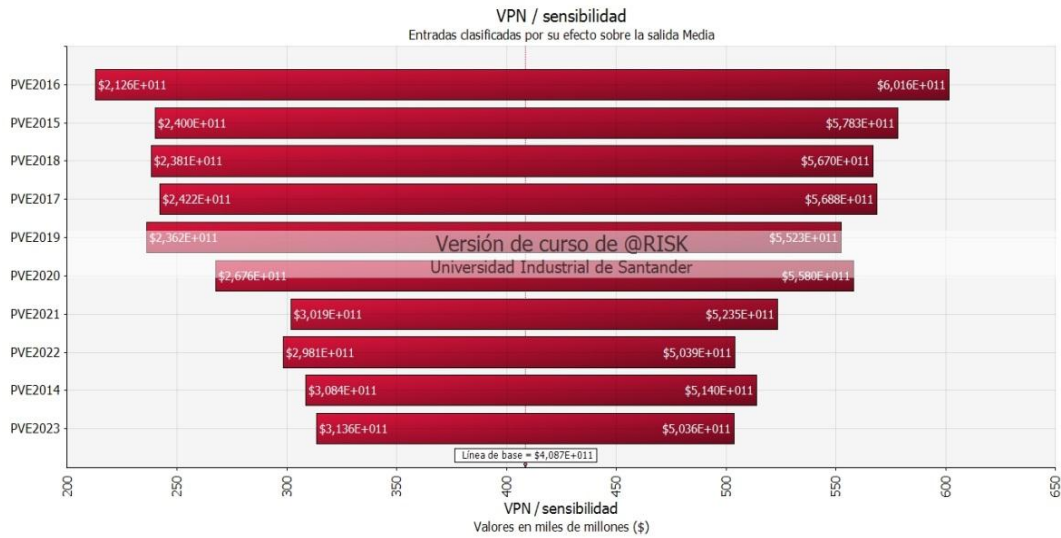


Gráfico 8. Variables de entrada jerarquizadas por su efecto en el VPN.



8.2.3 Payback ajustado

Al igual que el VPN, el tiempo de recuperación evidencia, la inviabilidad financiera del escenario vinculante del costo ambiental, al no poder recuperar la inversión en el horizonte del proyecto, tal como lo muestra el gráfico 9.

De la misma manera, el escenario sin incluir las externalidades ambientales, presenta un comportamiento similar al de los indicadores anteriores, al tomar un amplio rango de valores, el cual es ocasionado principalmente por las variables precio de venta, además, la variable inflación del año 2015 (2015/ inflación), precio de compra 2015 (PCMP2015) y el crecimiento de ventas (crec. Ventas) en menor medida. El tiempo medio de recuperación es de 2,8 años y existe una probabilidad del 6,1% de no recuperar la inversión en el horizonte del proyecto, tal como se muestra en el gráfico 10.

Gráfico 9. Payback ajustado vinculaando externalidades ambientales.

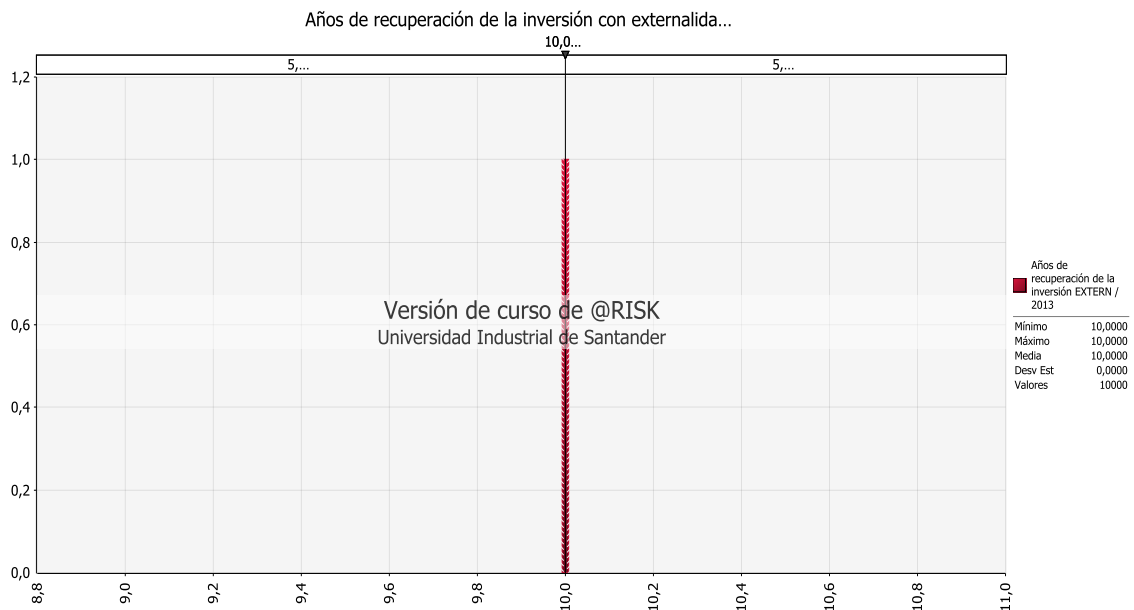
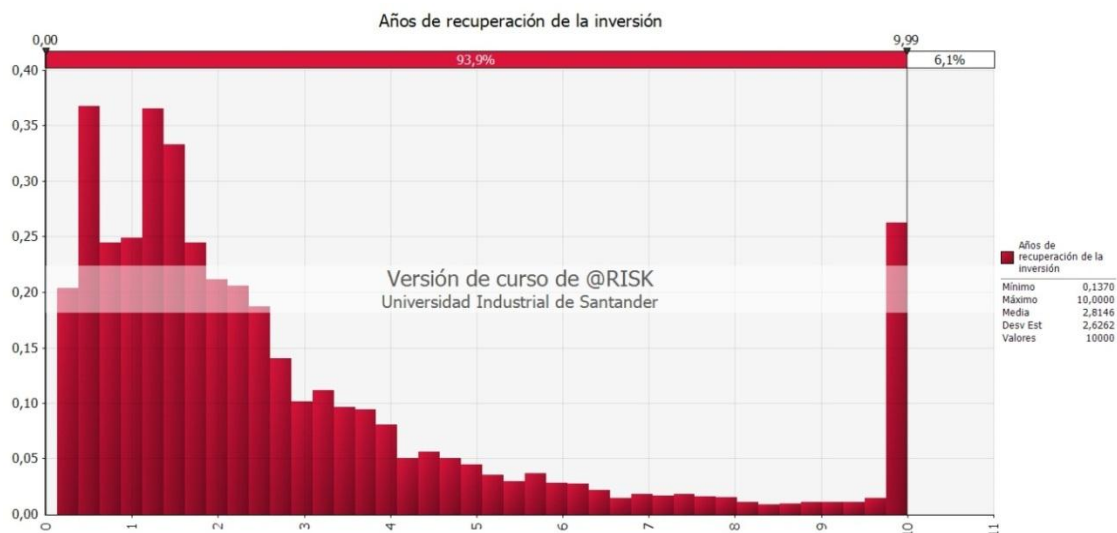


Gráfico 10. Payback ajustado sin vincular externalidades ambientales.

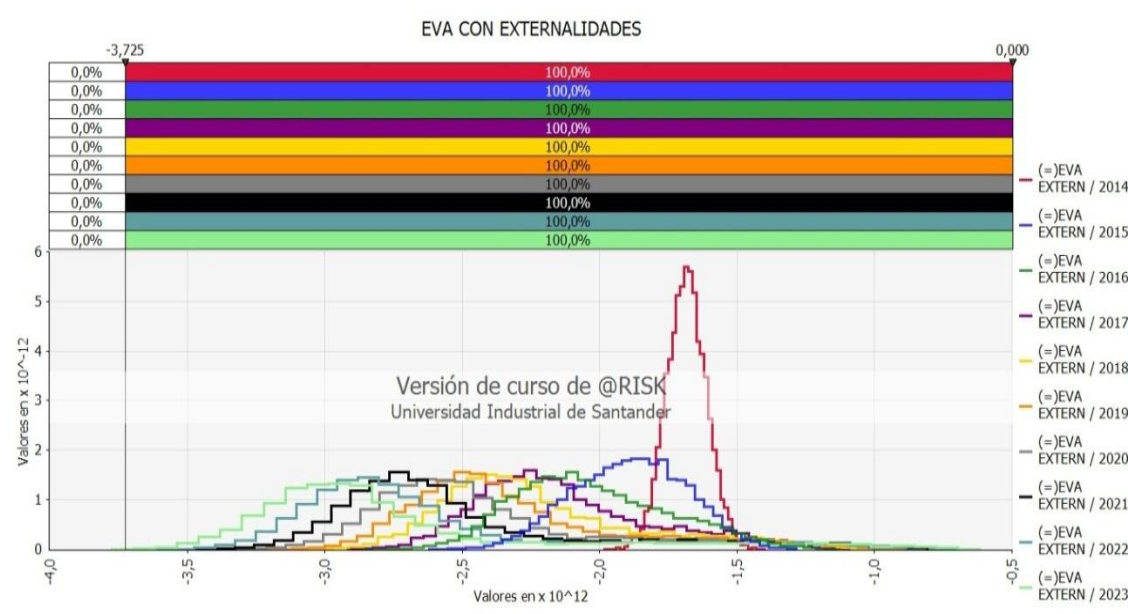


8.2.4 Valor económico agregado (EVA)

El valor económico agregado es el último indicador de rentabilidad a utilizar para determinar la viabilidad de la ruta tecnológica de solventes orgánicos en el presente trabajo.

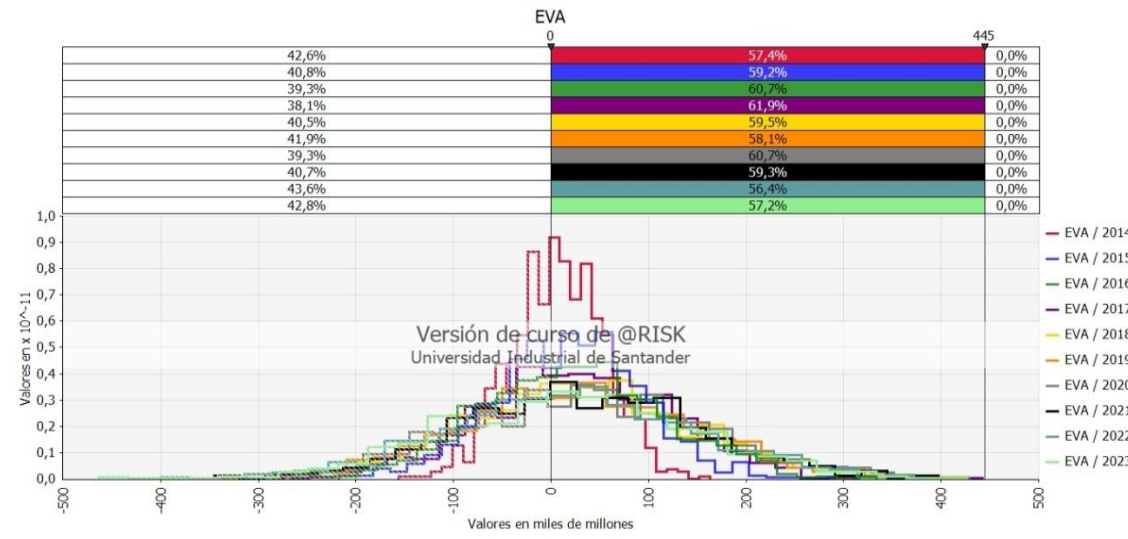
Nuevamente al vincular el costo ambiental a la evaluación financiera se obtienen resultados desfavorables para esta ruta, tal como se muestra en el gráfico 11, esta ruta en ningún caso genera valor.

Gráfico 11. Valor económico agregado externalidades ambientales.



En el escenario donde se excluye el costo ambiental, el valor económico agregado revela que existe una probabilidad aproximada del 40% de no generar valor en el horizonte del proyecto, como lo muestra el gráfico 12.

Gráfico 12. Valor económico agregado sin incluir externalidades ambientales.



9. CONCLUSIONES

- La producción de bioetanol en Colombia se muestra como una alternativa inobjetable para la reducción del impacto ambiental ocasionado por el transporte. Además, este subsector se muestra con gran potencial de crecimiento debido al interés del gobierno nacional en la promoción del mismo, pero, la inversión requerida para la implementación de un proyecto de producción de bioetanol es considerablemente alta, lo que seguramente limita la cantidad de inversionistas interesados en el sector.
- La transferencia de beneficios permitió ahorrar esfuerzos en la valoración de los impactos ambientales, pero nunca remplazará la certeza que brindan los estudios estadísticos intensivos que determinan el comportamiento de una población. Dicho esto, es necesario en Colombia fomentar los estudios de valoración ambiental enfocados a la toma de decisiones de inversión, es decir, se debe determinar la disposición a pagar de los habitantes de Colombia por el mejoramiento o preservación del entorno natural.
- El estudio técnico junto al presupuesto de inversión de los procesos productivos, indicaron que capital inicial que se requiere para la puesta en marcha de este proyecto es COP \$121.308.662.683,72, lo que solidifica una de las limitantes para la implementación de plantas de producción de bioetanol de segunda generación en Colombia. De la misma manera reveló las dificultades en la consecución de datos absolutos, por lo que los investigadores debieron valerse de diversas herramientas estimativas para el cálculo de los rubros necesarios.
- El método de simulación de Monte Carlo permitió, mediante la inclusión de variables aleatorias, el análisis del riesgo asociado en la implementación de

los tres procesos emergentes de producción de etanol, lo cual brindó un panorama más ilustrativo para la generación de conclusiones.

- Las rutas tecnológicas planteadas por el CIDES, presentaron altos costos de producción, esto se debe principalmente a los elevados requerimientos de insumos, los cuales en el caso de las rutas explosión de vapor y ácido diluido superan los ingresos obtenidos por las ventas. Por lo tanto, se deben seguir realizando esfuerzos en el diseño de procesos, en la exploración de nuevas materias primas o en el mejoramiento genético de las materias primas disponibles, de tal manera que se logre reducir los costos asociados a su producción y se pueda implementar estas alternativas energéticas de fuentes renovables.
- Al evaluar la viabilidad financiera de las rutas tecnológicas sin incluir el costo ambiental, se concluye que las rutas con pretratamiento de ácido diluido y explosión de vapor no son viables financieramente debido a sus altos costos indirectos de fabricación, en cambio la ruta de solventes orgánicos presenta una TIR y un VPN favorable, pero el EVA indica una alta probabilidad de no generar valor agregado, lo que evidencia un alto riesgo en la realización de la inversión, por lo tanto en evaluaciones financieras futuras de proyectos similares se debe considerar un costo de capital superior al utilizado en este trabajo de grado.
- Como se mencionó anteriormente la vinculación de las externalidades ambientales en la evaluación financiera de proyectos, se convierte en una oportunidad importante, para la toma de conciencia de los inversionistas sobre el impacto de los costos ambientales en la rentabilidad de las empresas. De esta manera los inversionistas pueden dilucidar la pérdida de valor del entorno ambiental en la medida en que las operaciones sigan en detrimento de los recursos naturales.

- Al vincular el costo ambiental a la evaluación financiera de la producción de bioetanol mediante el pretratamiento de solventes orgánicos, los indicadores de rentabilidad indicaron que este proceso productivo no es viable, esto se debe en primer lugar al alto consumo de energías no renovables que demanda la ruta tecnológica, lo que nuevamente exhorta al investigador a desarrollar procesos productivos más eficientes y que utilicen energías que reduzcan el impacto ambiental del ciclo de vida del producto.
- La actual estructura de precios del etanol en Colombia no tiene en cuenta el costo ambiental neto del ciclo de vida del producto, situación por la cual, la vinculación de las externalidades ambientales a los estados financieros supone una desventaja para el productor, por lo tanto estas propuestas deben ser instituidas como políticas gubernamentales, encabezadas por el Ministerio de Minas y Energía, y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, de tal manera que se consideren niveles máximos estandarizados de emisiones en la estructura de precios.
- Realizar este trabajo en conjunto con el grupo de investigación CIDES, generó el enriquecimiento de las partes debido al intercambio de conocimientos que se presentó en el desarrollo del mismo. El trabajo interdisciplinar permitió una labor investigativa de mayor calidad, al tener a su disposición las fortalezas de las escuelas de Ingeniería Industrial e Ingeniería Química.

BIBLIOGRAFÍA

A. ADEN, M. RUTH, K. IBSEN, J. JECHURA, K. NEEVES, J. SHEEHAN, B. WALLACE, L. MONTAGUE, A. SLAYTON, and J. LUKAS, "Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover" (Online). 2002. Citado: Marzo 23 de 2014. Disponible en: <http://www.nrel.gov/docs/fy99osti/26157.pdf>.

ANGEL, Jorge. ROZO, Javier. HERNÁNDEZ, Lorena. VALDERRAMA Darío. Estimación del consumo básico de agua potable en Colombia (Online). Bogotá D.C: Comisión de regulación de agua potable y saneamiento básico. 2011. 35 p. Disponible en: http://www.cra.gov.co/apc-aa-files/32383933383036613231636236623336/Revista7_Parte_1.pdf.

ANTON, María. Utilización del análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo. Tesis doctoral. Barcelona: universitat politècnica de Catalunya. 2004. 218 p.

ARDILA, Johana. ANÁLISIS EXERGÉTICO Y AMBIENTAL DEL USO DE RESIDUOS INDUSTRIALES DE LA PALMA AFRICANA PARA LA OBTENCIÓN DE ETANOL. Trabajo de grado Ingeniera Química. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. 2013. 65 p.

ASOCIACIÓN REGIONAL DE EMPRESAS DE PETRÓLEO Y GAS NATURAL EN LATINOAMÉRICA Y EL CARIBE (ARPEL). INSTITUTO INTERAMERICANO PARA LA COOPERACIÓN EN AGRICULTURA (IICA). Manual de biocombustibles (Online). 2009. 98 p. Consultado: Julio 4 de 2014. Disponible en: http://www.iica.int/Esp/Programas/Innovacion/Publicaciones_Tel/B2223E.pdf.

BANCO MUNDIAL. Doing Business 2014: Colombia (Online). Citado: Julio 4 de 2014. Disponible en: <http://espanol.doingbusiness.org/data/explore/economies/colombia/>.

BROOKSHIRE, D.S., NEILL, H.R., 1992. Benefit transfers – conceptual and empirical issues. *Water Resources Research* 28, 651–655. DOI: 10.1029/91WR02590.

CAMPOS, Juan. PRIAS, Omar. MERIÑO, Lourdes. CHARRIS, Inés. LORA, Edgar. CORREA, Zuly. RIAÑO, Francisco. Caracterización del uso de la energía en un agrupamiento industrial de la ciudad de Barranquilla (Online). Barranquilla D.E.I.P: Universidad del Atlántico, Energía Eficiente, Empresas de Acueducto de Bogotá. *Revista Energía y Computación*, Vol 14, N° 2. 2006. p. 31-39. Citado: Junio 15 de 2014. Disponible: <http://bibliotecadigital.univalle.edu.co/bitstream/10893/1456/1/V.14No.2-p.31-39.pdf>.

CANAVOS. George C. Probabilidad y estadística: aplicaciones y métodos. Naucalpan de Juarez (Mexico): Mc-Graw-Hill. 1988. 667 p. ISBN 0-316-12778-7.

CENTRE FOR ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF PRODUCTS AND MATERIAL SYSTEMS. CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS). Version 2000 – Models and data of the default method. 312 p. Citado: Abril 30 de 2014. Disponible: <http://www.cpm.chalmers.se/document/reports/99/EPS%20Version%202000%20Models%20and%20Data%20of%20the%20Default%20Method%20CPM%20Report%201999-5.pdf>.

CHEMICAL ENGINEERING. Chemical Engineering's Plant Cost Index (Online). Citado: Mayo 12 de 2014. Disponible en: <http://www.che.com/pci/>.

COLOMBIA. COMITÉ DIRECTIVO DEL FONDO DE ESTABILIZACIÓN DE PRECIOS PARA EL PALMISTE, EL ACEITE DE PALMA Y SUS FRACCIONES. ACUERDO N° 218 (30, Abril 2012), Por el cual se establece la metodología ex post para el cálculo de las Operaciones de Estabilización (Online). 14 p. Citado: Abril 13 de 2014. Disponible en: http://web.fedepalma.org/sites/default/files/files/Fedepalma/acuerdo%20218%20de%202012_actualizacionesymodificaciones_corte%20oct%202013.pdf.

COLOMBIA. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución N° 18 0687. (17, Junio, 2003). Por la cual se expide la regulación técnica prevista en la Ley 693 de 2001, en relación con la producción, acopio, distribución y puntos de mezcla de los alcoholes carburantes y su uso en los combustibles nacionales e importados (Online). Consultado: 4 de Julio de 2014. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=21978>. 12 p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 2200 (29, Diciembre, 2005). Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 1565 del 27 de diciembre de 2004. (29.Diciembre.2005). 2 p. Citado: Junio 2 de 2014. Disponible en: <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18837>.

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. MINISTERIO DE MINAS Y ENERGÍA. Resolución 1565 (27, Diciembre, 2004). Por la cual se modifica parcialmente la Resolución 898 del 23 de agosto de 1995, que regula los criterios ambientales de calidad de los combustibles líquidos y sólidos utilizados en hornos y calderas de uso comercial e industrial y en motores de combustión interna. 16 p. Citado: Junio 2 de 2014. Disponible en: http://www.minminas.gov.co/minminas/kernel/usuario_externo_normatividad/form_consultar_normas_energia.jsp?parametro=728&site=1.

COMISIÓN ECONÓMICA PARA AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). BANCO NACIONAL DE DESARROLLO ECONÓMICO Y SOCIAL (BNDES). CENTRO DE GESTIÓN Y ESTUDIOS ESTRATÉGICOS (CGEE). ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA ALIMENTACIÓN Y LA AGRICULTURA (FAO). Bioetanol de caña de azúcar; Una energía para el desarrollo sostenible (Online). 2008. 320 p. Citado: Mayo 28 de 2014. Disponible en: <http://www.bioetanoldecana.org/es/download/bioetanol.pdf>.

DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO NACIONAL DE ESTADÍSTICA (DANE). Cuenta satélite piloto de la agroindustria de la palma de aceite: Palma en desarrollo, en producción y su primer nivel de transformación 2005-2010 (Online).

2012. 77p. Citado: Maro 27 de 2014. Disponible en: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/pib/agroindustria/metodologia_agroindustria.pdf.

F. KABIR KAZI, J. FORTMAN, R. ANEX, G. KOTHANDARAMAN, D. HSU, A. ADEN, A. DUTTA. Techno-Economic Analysis of Biochemical Scenarios for Production of Cellulosic Ethanol (Online). Citado: Marzo 23 de 2014. Disponible en: <http://www.nrel.gov/docs/fy10osti/46588.pdf>.

FERNANDEZ, Adres. JIMENEZ, Isabel. RODRIGUEZ, Manuel. RESTREPO, Silvia. GÓMEZ, Jorge. Biocombustibles de segunda generación y Biodiesel: Una mirada a la contribución de la Universidad de los Andes (Citado). Bogotá DC. 2008. Citado: Abril 23 de 2014. Disponible en: <https://revistaing.uniandes.edu.co/pdf/a%2028%20corr.pdf>.

FONDO MONETARIO INTERNACIONAL. World Economic Outlook Databases 2014. Citado: Mayo 23 de 2014. Disponible en: <http://www.imf.org/external/pubs/ft/weo/2014/01/weodata/index.aspx>

HERNÁNDEZ, Elzbieta. Política Nacional de Biocombustibles en Colombia (Online). En: V Seminario Latinoamericano Y Del Caribe De Biocombustibles. (17-18, Agosto 2010, Santiago de Chile). 30 p. Consultado: Julio 4 de 2014. Disponible en: http://www.olade.org/biocombustibles/Documents/Ponencias%20Chile/Sesion%201_E%20Bochno_M%20Agricultura_Colombia.pdf.pdf.

INFORMATION TECHNOLOGY LABORATORY. SEMICONDUCTOR MANUFACTURING TECHNOLOGY. e-Engineering statistic handbook: Anderson-Darling test. Citado: Julio 5 de 2014. Disponible en: <http://www.itl.nist.gov/div898/handbook/eda/section3/eda35e.htm>.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Gestión ambiental: análisis de ciclo de vida. Principios y marco de referencia (Resumen de la segunda actualización). NTC ISO 14040 (Online). Bogotá D.C.: El instituto,

2007. Consultado: Julio 7 de 2014. Disponible en: <http://www.fedebiocombustibles.com/files/NTC-ISO%2014040.pdf>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN. Sistema de gestión ambiental: Requisitos para su uso. NTC-ISO 14001. Bogotá DC.: El instituto, 2004. 28 p.

MARQUEZ, Maria. Modelo setar aplicado a la volatilidad de la rentabilidad de las acciones: algoritmos para su identificación [Online]. Tesis doctoral en ciencias (Matemáticas). Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Estadística i Investigació Operativa. 2002. Citado: Julio 5 de 2014. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10803/6503>

MESA, Jens. La palma de aceite: un actor relevante para la reconciliación, los biocombustibles y el desarrollo de la Orinoquía [Online]. En: Foro: Reconciliación – Urbanismo – Energía. (23, 8, 2011: Bogotá D.C). Fedepalma. p.18. Citado: Julio 4 de 2014. Disponible en: http://www.urosario.edu.co/urosario_files/45/45878930-aa4d-4504-b062-82c717f14070.pdf

MIRANDA, Juan. Gestión de proyectos. MM editores. Bogotá. 2005. 5ª ed.

NACIONES UNIDAS. Protocolo de Kioto sobre el cambio climático (Online). 1998. Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Art 2-iv. p.2. Consultado: Julio 7 de 2014. Disponible en: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>.

NGUYEN, Thu Lan T. GHEEWALA, Shabbir H. Fossil energy, environmental and cost performance of ethanol in Thailand (Online). 2008. Journal of Cleaner Production, Vol 16, p 1814-1821, 2008. Citado: Julio 5 de 2014. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652607002600>. DOI: 10.1016/j.jclepro.2007.12.009.

ORGANIZACIÓN PARA LA COOPERACIÓN Y EL DESARROLLO ECONÓMICOS (OCDE). Complete databases available via OCDE's iLibrary. Citado: Mayo 23 de 2014. Disponible en: <http://stats.oecd.org/index.aspx?queryid=558>.

PETERS, Max. TIMMERHAUS, Klaus. WEST, Ronald. Plant Design and Economics for Chemical Engineers, Second Ed. New York, 1991, . Cap. 4.

UNIDAD DE PLANIFICACIÓN RURAL AGROPECUARIA (UPRA). Mercado de tierras rurales productivas en Colombia: Caracterización, Marco Conceptual, Jurídico e Institucional (Online). 2012. 95 p. Citado: Junio 26 de 2014. Disponible en: <http://www.todosomosud.com/Mercado-Tierras-Rurales-Productivas-Colombia.pdf>.

WILSON, Matthew A. HOEHN, John . 2006. Valuing environmental goods and services using benefittransfer: The state-of-the art and science (Online). Diciembre 2006. Citado: Mayo 26 de 2014. Disponible en internet: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921800906004460>. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2006.08.015

WORLD ENERGY OUTLOOK 2013 . Resumen ejecutivo (Online). Paris. 2013. International Energy Agency. p 4. Consultado: Julio 4 de 2014. Disponible en: <http://www.worldenergyoutlook.org/publications/weo-2013/>.

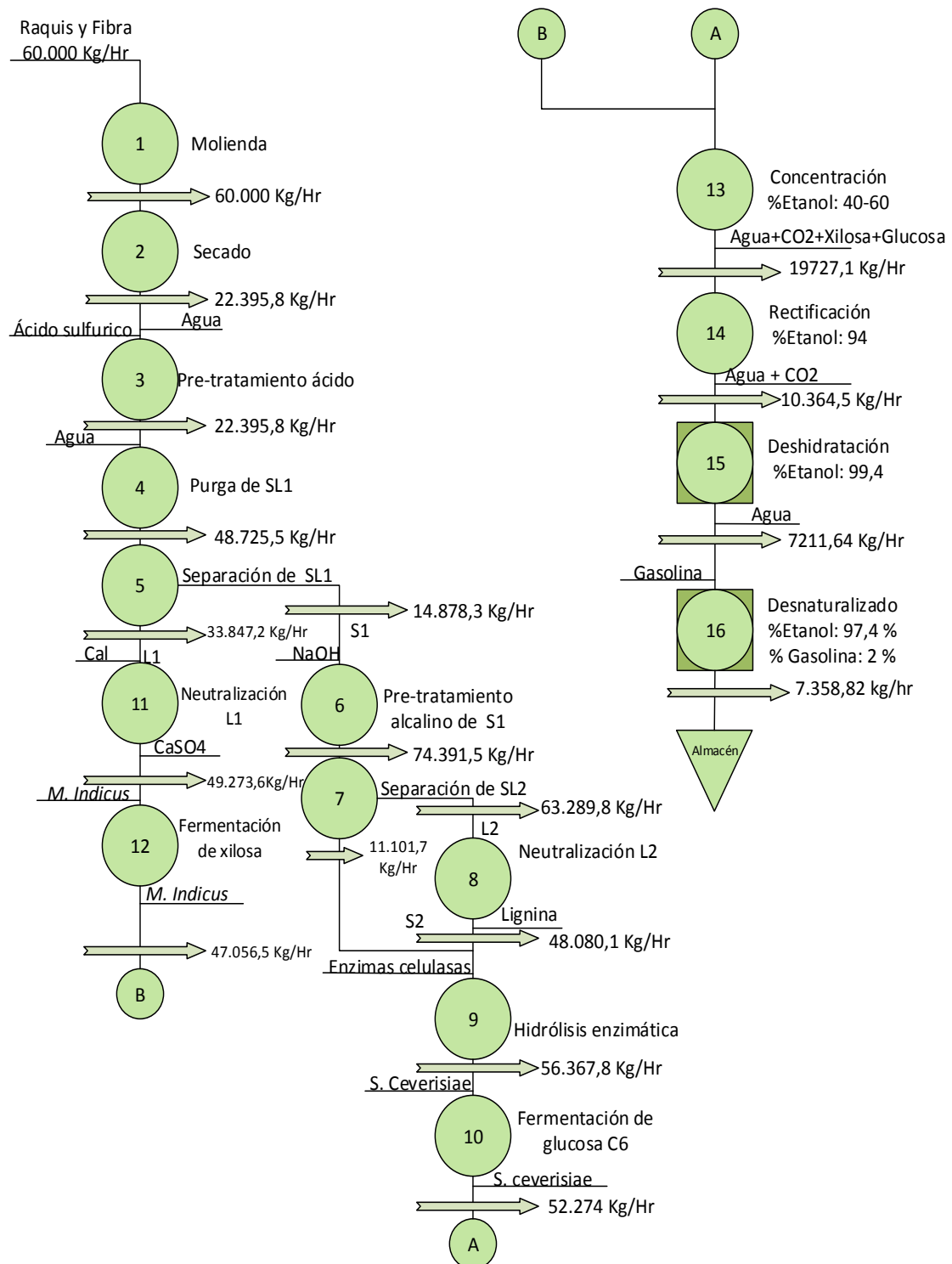
ANEXOS

Anexo A. Distancia de proveedores de materia prima y clientes a la planta de producción.

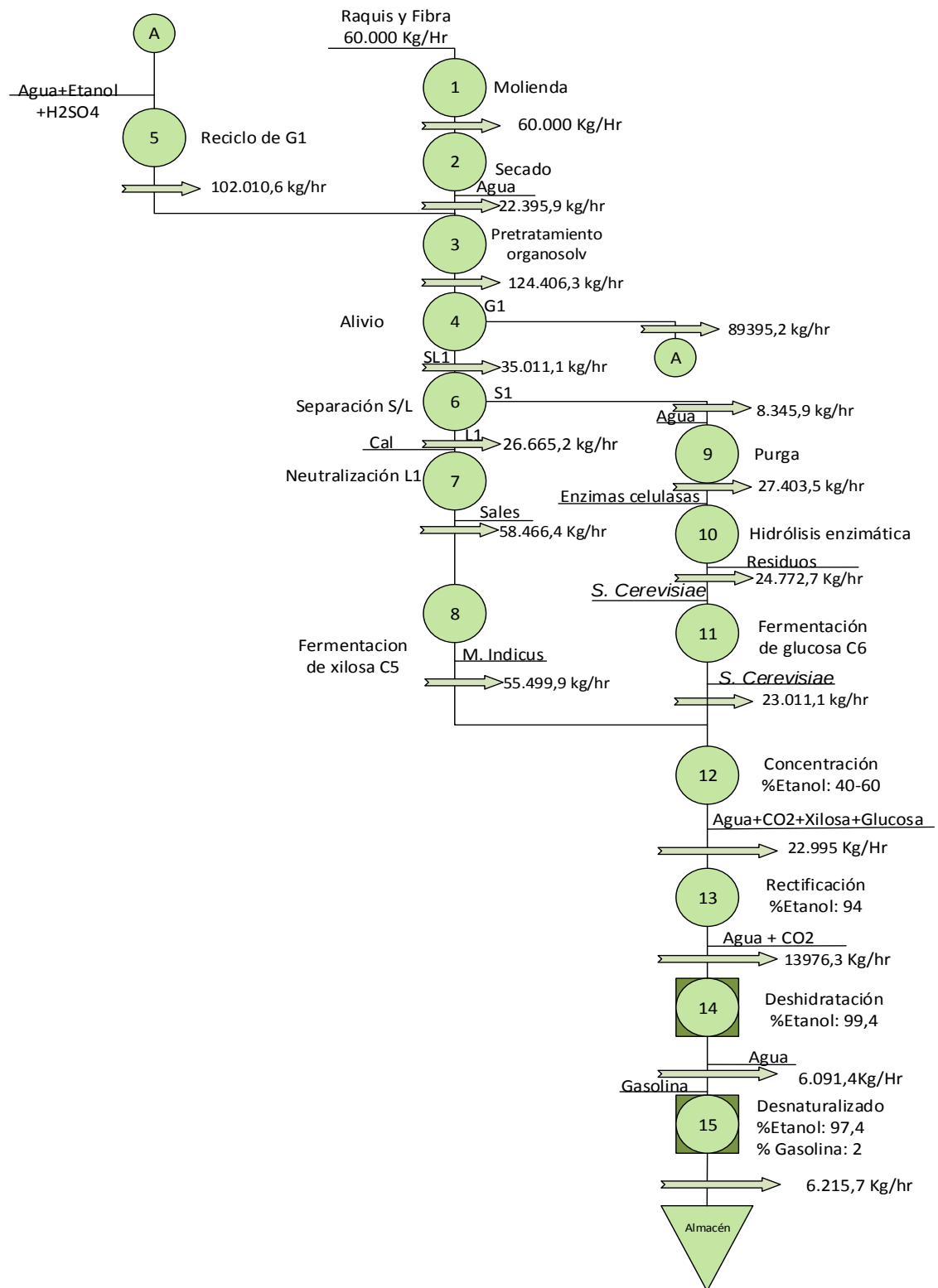
PROVEEDORES DE MP	UBICACIÓN	DISTANCIA (km)	TIEMPO (h:mm)
Palmas Oleaginosas Bucarelia	Corregimiento El Pedral, Puerto Wilches, Santander	72,8	3:00
Extractora Monterrey	Puerto Wilches, Santander	85,5	3:30
Palmeras puerto Wilches	Puerto Wilches, Santander	86,5	3:30
Agroince Ltda y Cia S.A.	Aguachica Cesar	185	4:00
Indupalma	San Alberto, Cesar	111	2:00
Palmas del Cesar S.A.	San Martin, Cesar	139	2:33
Estractora San Fernando	Sabana de Torres, Santander	53,1	1:40
DISTANCIA PROMEDIO DE PROVEEDORES		104,7	2:53
CLIENTES	UBICACIÓN	DISTANCIA (km)	TIEMPO (h:mm)
Organización Terpel S.A	La lizama, Barrancabermeja, Santander	23,4	0:25
Organización Terpel S.A	Chimitá, Girón, Santander	76,6	1:25
ExxonMobil	Girón, Santander	76,6	1:25
Organización Terpel S.A.	Ayacucho, La Gloria, Cesar.	188	3:33

Datos: Google Maps.

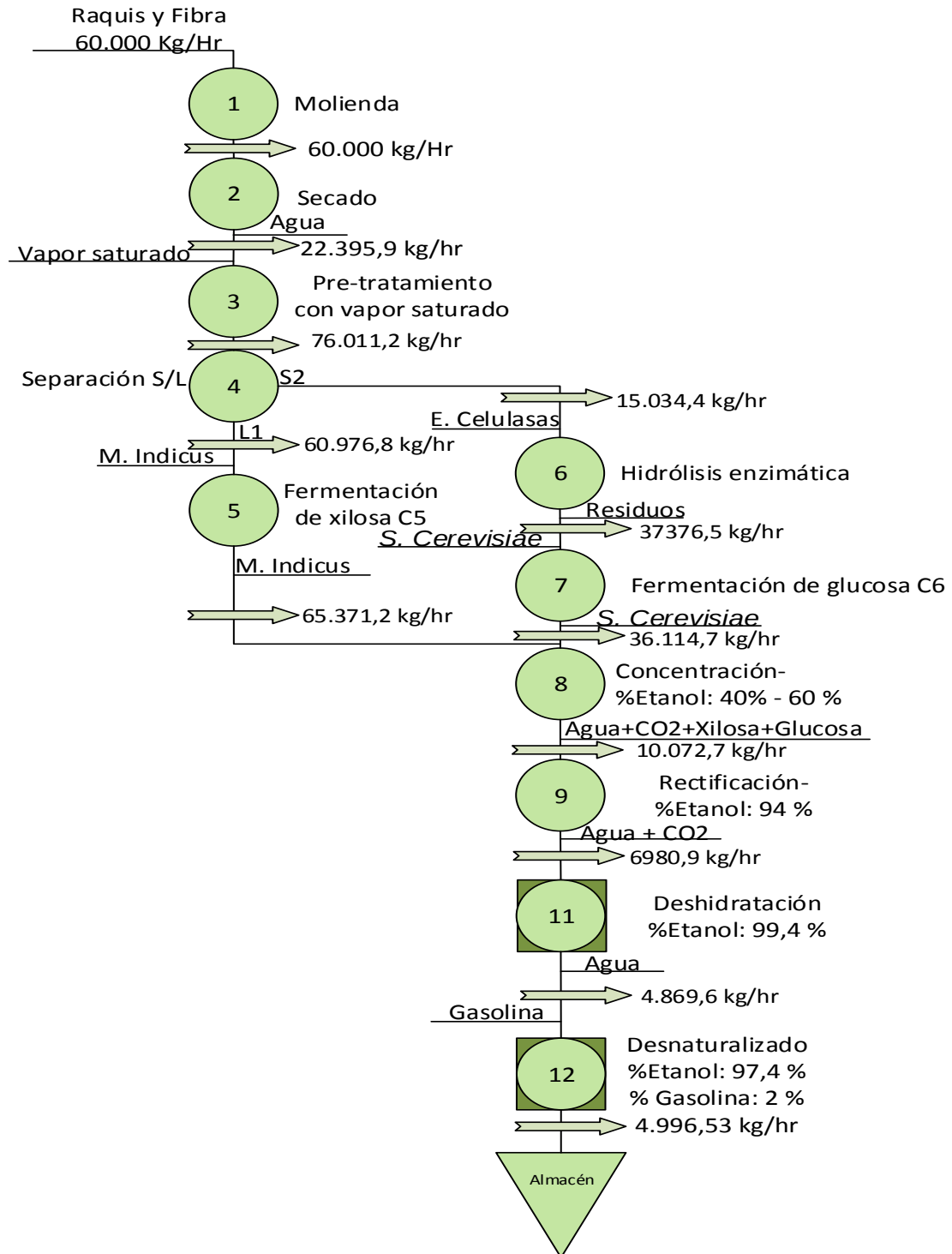
Anexo B. Diagrama de operaciones de la obtención de bioetanol mediante pretratamiento de ácido diluido.



Anexo C. Diagrama de operaciones de la obtención de bioetanol mediante pretratamiento de solventes orgánicos.



Anexo D. Diagrama de operaciones de obtención de bioetanol mediante pretratamiento de explosión de vapor.



Anexo E. Equipos de referencia.

ID	Equipment Name	Equipment Category	Equipment Type	Equipment Description	Material of Construction	Original Equipmt Cost (per unit)	Base Year	Installacion Factor	Scaling Exponent
C-101	Bale Transport Conveyor	CONVEYOR	BELT	Bale Transport Conveyor, 400 ft long, 8' wide, 50 HP motor	CS	400.000	2000	1,62	0,6
C-104	Shredder Feed Conveyor	CONVEYOR	BELT	Shredder Feed Conveyor, 8' wide X 30' long. 6001 lbs 31 fpm	CS	60.000	2000	1,38	0,6
D-502	Rectification Column	COLUMN	DISTILLATION	11.5' dia.(rect)., 4' dia. (strip) x 18" T.S., 60 act. Trays, 60% eff., Nutter V-Grid trays	SS	525.800	1996	2,1	0,68
F-300	Ethanol Fermentor	TANK	FLAT-BTM-STORAGE	962,651 gal. each, 7 day residence total, 90% wv, API, atmospheric	SS304	493.391	2010	1,2	0,6
H-504	Beer Column Condenser	HEATX	SHELL-TUBE	Floating Head, 880 sf, 20" dia., 22' long, 92 BTU/hr sf F	SS304;CS	29.544	1997	2,1	0,68
H-505	Rectification Column Condenser	HEATX	SHELL-TUBE	Fixed TS, 4146 sf, 39" dia, 20' long, 157 BTU/hr sf F	SS304;CS	86.174	1997	2,1	0,68
H-811	BFW Preheater	HEATX	SHELL-TUBE	Floating Head, 500 SF	SS304	58.400	1997	2,1	0,68
M-105	Shredder	SIZE-REDUCTION		Shredder (28 ton/hr)	ALLOY STEEL	302.000	2000	1,38	0,6
M-202	Prehydrolysis/Screw Feeder/Impregnator Reac	REACTOR	SCREW	Vertical Screw, 10 min residence time	HASTELLOY-C 200;SS316L	2.457.487	2000	2,29	0,6
M-503	Molecular Sieve (9 pieces)	MISCELLANEOUS	PACKAGE	Superheater, twin mole sieve columns, product cooler, condenser, pumps, vacuum s	SS	2.700.000	1998	1	0,7
P-201	Sulfuric Acid Pump	PUMP	CENTRIFUGAL	4 gpm, 245 ft. head	SS304	4.800	2000	2,8	0,79
P-205	Pneumapress Feed Pump	PUMP	CENTRIFUGAL	Goulds Mod 3196 ^X8-13 1000 gpm 60 ft TDH 25 hp 1200 RPM	SS316	15.416	2000	3,34	0,79
P-211	Primary Filtrate Pump	PUMP	CENTRIFUGAL	Goulds Mod 3410 10X12-17 1000 GPM 60 ft TDH	SS316	32.549	2000	3,56	0,79
P-306	Beer Transfer Pump	PUMP	CENTRIFUGAL	1632 gpm each, 171 ft head	SS304	34.600	1997	2,8	0,79

Anexo E. Equipos de referencia (Continuación)

ID	Equipment Name	Equipment Category	Equipment Type	Equipment Description	Material of Construction	Original Equipmt Cost (per unit)	Base Year	Installacion Factor	Scaling Exponent
P-504	Rectification Column Bottoms Pump	PUMP	CENTRIFUGAL	154 gpm, 158 ft head	SS	4.916	1998	2,8	0,79
P-505	Rectification Column Reflux Pump	PUMP	CENTRIFUGAL	437 gpm, 110 ft head	SS	4.782	1998	2,8	0,79
P-701	Ethanol Product Pump	PUMP	CENTRIFUGAL	324 gpm, 112 ft head	CS	7.500	1997	2,8	0,79
S-205	Pneumapress Filter	SEPARATOR	PNEUMAPRESS	MOD 30-12-316 285 GPM 360 SQ FT AREA	SS316	1.575.000	2000	1,05	0,6
S-222	Hydroclone & Rotary Drum Filter	S/L SEPARATOR	ROTARY-DRUM	Hydrocyclone and Vacuum Filter	EPOXY LINED	165.000	1998	1,4	0,39
T-101	Wash Water Tank	TANK	VERTICAL-VESSEL	Wash Water Tank (20' Diameter X 22' Tall, 50,000 gal)	CS	50.000	2000	2,8	0,51
T-201	Sulfuric Acid Storage	TANK	VERTICAL-VESSEL	6444 gal., 24 hr. residence time, 90% wv	PLASTIC	5.760	1996	1,2	0,71
T-203	Blowdown Tank	TANK	VERTICAL-VESSEL	14500 gal., 11' dia x 30' high, 10 min. res. time, 75% wv, 15 psig	SS316	64.100	1997	1,2	0,6
T-209	Overliming Tank	TANK	VERTICAL-VESSEL	46200 gal., 16' dia. X 32' high, 1 hr. res. time, 90% wv, 15 psig	SS304	71.000	1997	1,4	0,71
T-301	Seed Hold Tank	TANK	FLAT-BTM-STORAGE	233,333 gal., API atmospheric	SS304	161.593	1998	1,2	0,71
T-306	Beer Storage Tank	TANK	FLAT-BTM-STORAGE	456617 gal., 45' dia x 40' high, 4 hr res. Time, 90% wv, atmospheric	SS304	237.700	1998	1,2	0,71
T-310	Saccharification Tank	TANK	FLAT-BTM-STORAGE	962,651 gal. each, 7 day residence total, 90% wv, API, atmospheric	SS304	493.391	1998	1,2	0,71
T-701	Ethanol Product Storage Tank	TANK	FLAT-BTM-STORAGE	604,133 gal, 7 day res time total, 90% wv, 51' dia x 40' high, atmospheric	A285C	165.800	1997	1,4	0,71

Fuente: NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY. Lignocellulosic Biomass to Ethanol Process Design and Economics Utilizing Co-Current Dilute Acid Prehydrolysis and Enzymatic Hydrolysis for Corn Stover. Junio 2002. NREL/TP-510-3

Anexo F. Valores de Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI)

AÑO	CEPCI
1995	381,1
1996	381,7
1997	386,5
1998	389,5
1999	390,6
2000	394,1
2001	394,3
2002	395,6
2003	402
2004	444,2
2005	468,2
2006	499,6
2007	525,4
2008	575,4
2009	521,9
2010	550,8
2011	585,7
2012	584,6
2013	567,5

Fuente: CHEMICAL ENGINEERING. Chemical Engineering's Plant Cost Index (Online). Citado: Mayo 12 de 2014. Disponible en: <http://www.che.com/pci/>.

Anexo G. Costos de instalación de equipos ruta tecnológica ácido diluido.

Nombre de equipo	Costo año 2013 (USD)	Factor de instalación	Costo de instalación (USD)
Banda transportadora de Biomasa	129.691,25	0,62	80.408,57
Transportador de tornillo sin fin	269.889,82	0,38	102.558,13
Fermentador de etanol	875.127,93	0,2	175.025,59
Condensador	65.926,91	1,1	72.519,60
Intercambiador de calor BFW	87.124,71	1,1	182.961,88
Triturador	323.903,13	0,38	123.083,19
Reactor	1.928.886,92	1,29	2.488.264,12
Tamiz molecular	2.258.887,91	0	-
Bomba de ácidos	5.721.811,14	1,8	10.299.260,05
Bomba de alimentación Pneumapress	26.228,80	2,34	61.375,40
Bomba primaria	86.996,15	2,56	222.710,13
Bomba de transferencia	35.389,29	1,8	63.700,73
Bomba de Etanol	2.646,21	1,8	4.763,18
Filtro Pneumapress	7.620.882,44	0,05	381.044,12
Filtro Hidrociclón y de tambor rotatorio	2.530.414,59	0,4	1.012.165,84
Tanque de ácidos	4.290,73	0,4	1.716,29
Tanque de purga	177.861,11	0,2	35.572,22
Tanque overliming	208.610,36	0,4	83.444,14
Tanque de almacenamiento y mezcla	664.171,46	0,2	132.834,29
Tanque de hidrólisis	5.120.448,50	0,2	1.024.089,70
Tanque de almacenamiento de etanol	63.135,42	0,4	25.254,17
Bascula camionera	35.962,73	0,1	3.596,27
Torre de destilación	2.060.331,22	0,1	206.033,12
Secador rotatorio	3.619.178,43	0,3	1.085.753,53
Total (USD)	33.917.797,16		17.868.134,27
Total (COP)	63.344.877.976,06		33.370.527.556,9

Anexo H. Costos de instalación de equipos ruta tecnológica explosión de vapor.

Nombre de equipo	Costo de equipos (USD)	Factor de instalación	Costo de instalación (USD)
Banda transportadora de Biomasa	129.691,25	0,62	80.408,57
Transportador de tornillo sin fin	65.042,15	0,38	24.716,02
Fermentador de etanol	1.437.737,57	0,2	287.547,51
Condensador	178.839,59	0,1	17.883,96
Intercambiador de calor BFW	161.219,92	0,1	16.121,99
Triturador	349.162,48	0,38	132.681,74
Tamiz molecular	1.851.245,61	0	--
Bomba de alimentación Pneumapress	109.225,04	0,34	37.136,52
Bomba primaria	6.952,82	0,56	3.893,58
Bomba de transferencia	38.032,61	0,8	30.426,09
Bomba de Etanol	4.798,37	0,8	3.838,70
Filtro Pneumapress	2.825.570,53	0,05	141.278,53
Filtro Hidrociclón y de tambor rotatorio	1.752.802,89	0,44	771.233,27
Tanque de purga	75.624,48	0,2	15.124,90
Tanque de almacenamiento y mezcla	247.830,04	0,2	49.566,01
Tanque de hidrólisis	2.008.485,84	0,2	401.697,17
Tanque de almacenamiento de etanol	34.654,89	0,4	13.861,96
Bascula camionera	35.962,73	0,1	3.596,27
Secador rotatorio	3.619.178,43	0,3	1.085.753,53
Torre de destilación	3.368.500,18	0,1	336.850,02
Total (USD)	18.300.557,45		3.453.616,33
Total (COP)	34.178.121.093,33		6.449.973.854,7

Anexo I. Costos de instalación de equipos ruta tecnológica solventes orgánicos.

Nombre de equipo	Costo de equipos (USD)	Factor de instalación	Costo de instalación (USD)
Banda transportadora de Biomasa	129.691,25	0,62	80.408,57
Transportador de tornillo sin fin	65.430,07	0,38	24.863,43
Fermentador de Etanol	1.653.027,96	0,2	330.605,59
Condensador PSA	315.492,53	1,1	347.041,79
Intercambiador	681.821,45	1,1	750.003,59
Triturador	349.162,48	0,38	132.681,74
Tamiz molecular	2.784.735,63	0	
Bomba de Me	1.291.635,36	1,8	2.324.943,64
Bomba de alimentación Pneumapress	29.676,67	2,34	69.443,42
Bomba primaria	136.116,57	2,56	348.458,42
Bomba de transferencia	30.169,35	1,8	54.304,83
Bomba de Etanol	3.359,15	1,8	6.046,46
Filtro Pneumapress	3.432.801,00	0,05	171.640,05
Filtro Hidrociclón y de tambor rotatorio	1.693.973,70	0,4	677.589,48
Tanque de ácidos	101.327,27	0,4	40.530,91
Tanque de purga	60.823,66	0,3	18.247,10
Tanque overliming	77.339,34	0,4	30.935,74
Tanque mezclador recuperación	139.230,17	0,2	27.846,03
Tanque de etanol	30.501,95	0,2	6.100,39
Tanque de hidrólisis	1.524.747,19	0,4	609.898,88
Tanque de almacenamiento de etanol	98.310,29	0,4	39.324,11
Bascula camionera	35.962,73	0,1	3.596,27
Secador rotatorio	3.174.211,81	0,3	952.263,54
Torre de destilación	129.013,58	0,4	51.605,43
Total (USD)	17.968.561,14		7.098.379,42
Total (COP)	33558084793		13.256.933.411,33

Anexo J. Datos históricos de tasa de inflación Colombia.

Año	Mes	Inflación	Año	Mes	Inflación	Año	Mes	Inflación
2004	Enero	7,25%	2008	Enero	5,47%	2012	Enero	3,78%
	Febrero	6,81%		Febrero	5,60%		Febrero	3,76%
	Marzo	6,50%		Marzo	5,99%		Marzo	3,76%
	Abril	6,14%		Abril	5,95%		Abril	3,90%
	Mayo	5,99%		Mayo	6,02%		Mayo	3,82%
	Junio	6,30%		Junio	6,46%		Junio	3,56%
	Julio	6,28%		Julio	6,98%		Julio	3,65%
	Agosto	5,81%		Agosto	7,05%		Agosto	3,80%
	Septiembre	5,67%		Septiembre	7,16%		Septiembre	3,71%
	Octubre	5,54%		Octubre	7,57%		Octubre	3,58%
	Noviembre	5,46%		Noviembre	7,64%		Noviembre	3,35%
	Diciembre	5,34%		Diciembre	7,29%		Diciembre	3,23%
2005	Enero	5,44%	2009	Enero	7,42%	2013	Enero	2,95%
	Febrero	5,38%		Febrero	7,52%		Febrero	2,78%
	Marzo	5,12%		Marzo	6,67%		Marzo	2,78%
	Abril	4,95%		Abril	6,27%		Abril	2,79%
	Mayo	4,81%		Mayo	6,17%		Mayo	2,72%
	Junio	4,37%		Junio	5,78%		Junio	2,83%
	Julio	4,27%		Julio	5,03%		Julio	2,81%
	Agosto	4,44%		Agosto	4,81%		Agosto	2,78%
	Septiembre	4,57%		Septiembre	4,58%		Septiembre	2,79%
	Octubre	4,59%		Octubre	3,99%		Octubre	2,66%
	Noviembre	4,53%		Noviembre	3,51%		Noviembre	2,77%
	Diciembre	4,29%		Diciembre	3,74%		Diciembre	2,72%
2006	Enero	3,95%	2010	Enero	3,83%	2014	Enero	2,69%
	Febrero	3,52%		Febrero	3,35%		Febrero	2,79%
	Marzo	3,49%		Marzo	3,20%		Marzo	2,86%
	Abril	3,49%		Abril	3,18%			
	Mayo	3,59%		Mayo	3,23%			
	Junio	3,73%		Junio	3,08%			
	Julio	4,20%		Julio	3,02%			
	Agosto	4,54%		Agosto	2,97%			
	Septiembre	4,56%		Septiembre	2,97%			
	Octubre	4,50%		Octubre	3,00%			
	Noviembre	4,60%		Noviembre	3,09%			
	Diciembre	4,80%		Diciembre	3,17%			
2007	Enero	5,04%	2011	Enero	3,14%			
	Febrero	5,34%		Febrero	3,14%			
	Marzo	5,48%		Marzo	3,12%			
	Abril	5,85%		Abril	3,03%			
	Mayo	5,73%		Mayo	3,08%			
	Junio	5,61%		Junio	3,43%			
	Julio	5,39%		Julio	3,53%			
	Agosto	5,19%		Agosto	3,22%			
	Septiembre	4,98%		Septiembre	3,40%			
	Octubre	5,26%		Octubre	3,61%			
	Noviembre	5,47%		Noviembre	3,78%			
	Diciembre	5,51%		Diciembre	3,92%			

Fuente: BANCO DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA. Indicadores de inflación básica (online). Fecha de consulta: Julio 2 de 2014. Disponible en: <http://www.banrep.gov.co/es/inflacion-basica#>

Anexo K. Datos históricos para la estimación del precio de la materia prima.

Fecha	Precio de aceite de palma (COP/t)	Cesión de estabilización	Precio RFF (COP/t)	Precio de la materia prima
dic. 2005	840331	7000	141666,27	41083,2183
ene. 2006	859949,1	45000	138541,347	40176,99063
feb. 2006	880121,1	123000	128710,587	37326,07023
mar. 2006	868948,3	130000	125621,211	36430,15119
abr. 2006	909822,8	121000	134099,876	38888,96404
may. 2006	948052,8	47000	153178,976	44421,90304
jun. 2006	985382,4	9000	165985,008	48135,65232
jul. 2006	1020048	77000	160318,16	46492,2664
ago. 2006	1040380	92000	161224,6	46755,134
sep. 2006	1000021	79000	156573,57	45406,3353
oct. 2006	999000,3	68000	158270,051	45898,31479
nov. 2006	1092419	45000	178061,23	51637,7567
dic. 2006	1195587	65000	192199,79	55737,9391
ene. 2007	1231183	88000	194341,11	56358,9219
feb. 2007	1232479	131000	187251,43	54302,9147
mar. 2007	1246348	122000	191139,16	55430,3564
abr. 2007	1386994	99000	218958,98	63498,1042
may. 2007	1475783	51000	242213,11	70241,8019
jun. 2007	1437922	45000	236796,74	68671,0546
jul. 2007	1487835	85000	238481,95	69159,7655
ago. 2007	1526137	76000	246523,29	71491,7541
sep. 2007	1573925	52000	258727,25	75030,9025
oct. 2007	1648505	73000	267835,85	77672,3965
nov. 2007	1796534	60000	295210,78	85611,1262
dic. 2007	1781656	68000	291321,52	84483,2408
ene. 2008	1954251	81000	318452,67	92351,2743
feb. 2008	2115278	82000	345657,26	100240,6054
mar. 2008	2117464	117000	340078,88	98622,8752
abr. 2008	1946699	29000	326008,83	94542,5607
may. 2008	1934247	57000	319131,99	92548,2771
jun. 2008	1879397	42000	312357,49	90583,6721
jul. 2008	1829898	54000	301902,66	87551,7714
ago. 2008	1461753	58000	238638,01	69205,0229
sep. 2008	1379586	67000	223139,62	64710,4898
oct. 2008	1113674	78000	176064,58	51058,7282
nov. 2008	1008402	183000	140318,34	40692,3186
dic. 2008	1001054	155000	143829,18	41710,4622
ene. 2009	1175850	123000	178984,5	51905,505
feb. 2009	1330895	126000	204832,15	59401,3235
mar. 2009	1385425	110000	216822,25	62878,4525
abr. 2009	1648677	119000	260045,09	75413,0761
may. 2009	1725937	97000	276919,29	80306,5941
jun. 2009	1442421	73000	232801,57	67512,4553

Anexo k. (Continuación)

Fecha	Precio de aceite de palma (COP/t)	Cesión de estabilización	Precio RFF (COP/t)	Precio de la materia prima
jul. 2009	1233777	156000	183222,09	53134,4061
ago. 2009	1386534	149000	210380,78	61010,4262
sep. 2009	1260637	126000	192888,29	55937,6041
oct. 2009	1208100	29000	200447	58129,63
nov. 2009	1331719	-36000	232512,23	67428,5467
dic. 2009	1467354	135000	226500,18	65685,0522
ene. 2010	1467445	190000	217165,65	62978,0385
feb. 2010	1473106	146000	225608,02	65426,3258
mar. 2010	1516472	117000	237910,24	68993,9696
abr. 2010	1546896	70000	251072,32	72810,9728
may. 2010	1538876	9000	260078,92	75422,8868
jun. 2010	1473424	0	250482,08	72639,8032
jul. 2010	1452484	2000	246582,28	71508,8612
ago. 2010	1572989	1000	267238,13	77499,0577
sep. 2010	1597502	-13000	273785,34	79397,7486
oct. 2010	1691552	-5000	288413,84	83640,0136
nov. 2010	1968952	-16000	337441,84	97858,1336
dic. 2010	2255656	-17000	386351,52	112041,9408
ene. 2011	2308455	12000	390397,35	113215,2315
feb. 2011	2355912	19000	397275,04	115209,7616
mar. 2011	2156048	52000	357688,16	103729,5664
abr. 2011	2033383	36000	339555,11	98470,9819
may. 2011	2059227	-6000	351088,59	101815,6911
jun. 2011	1918291	-14000	328489,47	95261,9463
jul. 2011	1821366	36000	303512,22	88018,5438
ago. 2011	1869768	61000	307490,56	89172,2624
sep. 2011	1830304	43000	303841,68	88114,0872
oct. 2011	1746088	38000	290374,96	84208,7384
nov. 2011	1889183	41000	314191,11	91115,4219
dic. 2011	1874747	4000	318026,99	92227,8271
ene. 2012	1887738	0	320915,46	93065,4834
feb. 2012	1866507	0	317306,19	92018,7951
mar. 2012	1953115	0	332029,55	96288,5695
abr. 2012	2054268	0	349225,56	101275,4124
may. 2012	1844639	0	313588,63	90940,7027
jun. 2012	1658628	0	281966,76	81770,3604
jul. 2012	1699941	0	288989,97	83807,0913
ago. 2012	1680805	0	285736,85	82863,6865
sep. 2012	1584917	0	269435,89	78136,4081
oct. 2012	1383928	0	235267,76	68227,6504
nov. 2012	1352601	0	229942,17	66683,2293
dic. 2012	1282925	0	218097,25	63248,2025
ene. 2013	1374651	0	233690,67	67770,2943

Anexo k. (Continuación)

Fecha	Precio de aceite de palma (COP/t)	Cesión de estabilización	Precio RFF (COP/t)	Precio de la materia prima
feb. 2013	1418932	0	241218,44	69953,3476
mar. 2013	1398900	0	237813	68965,77
abr. 2013	1384751	0	235407,67	68268,2243
may. 2013	1410142	0	239724,14	69520,0006
jun. 2013	1454761	0	247309,37	71719,7173
jul. 2013	1388705	104000	218399,85	63335,9565
ago. 2013	1376156	61000	223576,52	64837,1908
sep. 2013	1392667	70000	224853,39	65207,4831
oct. 2013	1438236	59000	234470,12	67996,3348
nov. 2013	1556020	82000	250583,4	72669,186
dic. 2013	1539450	29000	256776,5	74465,185
ene. 2014	1509528	25000	252369,76	73187,2304
feb. 2014	1655344	25000	277158,48	80375,9592
mar. 2014	1739257	14500	293208,69	85030,5201

Fuente: * Idexmundi, **Fedepalma.

Cálculos: Los autores

Anexo L. Valores de fletes de transporte de RFF de poblaciones de Santander.

Vereda	Valor flete /cantidad transportada		
Cantidad trasportada(t)	5	10	15
Aguas Claras	21216	19675	25553
Albania	27436	24770	31215
Cerrito	22972	22092	28239
El Cortijo	22360	21725	27831
Galán	26784	24379	30780
Guarumo	22952	22080	28226
Km 32	16534	18229	23947
La Fortuna	21214	21037	27067
La Gómez	16376	18134	23842
La Moneda	17106	18572	24329
Mateplatano	20543	20634	26620
Meseta de San Rafael	21767	21369	27436
Tenerife	28719	25540	32071
Vizcaína	23407	22353	28529
Promedio (COP/t)	2801,15317		

Fuente: Cadena, María. Jaraba, Jenny. Plan de negocio para la creación de una unidad estratégica de transporte de fruto de palma africana en extractora San Fernando s.a. Trabajo de grado Ingeniero Industrial. Bucaramanga. Universidad Industrial de Santander. Facultad de Fisico-mecánicas. 2014. 139 p.

Anexo M. Cotización virtual de servicio de telefonía e internet con TeleBucarmanga.

Resultados

Características del plan

Segmento: PymesEstrato: Industrial / Comercial

Servicios

Internet - Internet de 10 Megas	\$75,168
Voz - Telefonía Local Ilimitada	\$45,240
Total	\$120,408

Servicios adicionales

Plan Pymes ilimitado empaquetado con telefonía fija e internet	\$22,000
Total IVA Incluido:	\$137,188

*Aplican condiciones y restricciones. Planes sujetos a cobertura y disponibilidad técnica.

*Ver condiciones y restricciones

Enviar

Anexo N. Cifras anuales de ventas de etanol en Colombia.

Año	ventas (miles de litros)	tasa crecimiento
2006	262.470	
2007	283.132	0,07872116
2008	247.097	-0,1272748
2009	338.360	0,36934386
2010	292.089	-0,1367515
2011	351.086	0,20198418
2012	368.446	0,0494447
2013	393.782	0,06876513

Fuente: FEPA, cálculos Asocaña; para importaciones DANE. Consultado: 3 julio de 2014.

Disponible en: <http://www.asocana.org/modules/documentos/5528.aspx>

Anexo O. Precios mensuales de alcohol carburante en COP

Fecha	Alcohol Carburante (\$/Galón)	Fecha	Alcohol Carburante (\$/Galón)	Fecha	Alcohol Carburante (\$/Galón)
nov-05	3.906,89	abr-09	6.121,33	sep-12	7.949,81
dic-05	3.906,89	may-09	5.903,37	oct-12	7.749,11
ene-06	3.859,19	jun-09	6.547,28	nov-12	7.650,94
feb-06	3.859,19	jul-09	6.281,49	dic-12	7.655,96
mar-06	3.973,23	ago-09	6.531,41	ene-13	7.369,65
abr-06	4.279,09	sep-09	6.818,58	feb-13	6.931,39
may-06	4.496,98	oct-09	7.073,50	mar-13	6.823,89
jun-06	4.596,98	nov-09	7.073,50	abr-13	6.834,29
jul-06	5.096,98	dic-09	7.073,50	may-13	6.768,05
ago-06	5.435,98	ene-10	7.173,50	jun-13	6.703,64
sep-06	5.802,57	feb-10	7.166,62	jul-13	6.883,04
oct-06	6.049,98	mar-10	7.365,79	ago-13	6.839,83
nov-06	5.782,27	abr-10	7.365,79	sep-13	6.791,87
dic-06	5.569,94	may-10	9.235,37	oct-13	6.790,37
ene-07	5.482,86	jun-10	9.134,78	nov-13	6.644,86
feb-07	5.343,94	jul-10	8.509,24	dic-13	6.733,08
mar-07	5.128,73	ago-10	7.880,75	ene-14	6.670,44
abr-07	4.865,08	sep-10	7.242,13	feb-14	6.553,99
may-07	4.865,08	oct-10	7.289,84		
jun-07	4.590,08	nov-10	7.765,79		
jul-07	4.315,08	dic-10	7.765,79		
ago-07	4.040,08	ene-11	7.999,18		
sep-07	4.523,32	feb-11	8.099,18		
oct-07	4.594,00	mar-11	8.099,18		
nov-07	4.594,00	abr-11	8.299,52		
dic-07	4.594,00	may-11	8.449,52		
ene-08	4.461,19	jun-11	8.449,52		
feb-08	4.453,06	jul-11	8.449,52		
mar-08	4.496,93	ago-11	8.535,54		
abr-08	4.496,93	sep-11	8.635,54		
may-08	4.496,93	oct-11	8.535,54		
jun-08	4.496,93	nov-11	8.532,18		
jul-08	4.496,93	dic-11	8.621,78		
ago-08	4.760,19	ene-12	8.628,41		
sep-08	5.038,11	feb-12	8.712,69		
oct-08	5.127,84	mar-12	8.811,68		
nov-08	5.223,47	abr-12	8.704,66		
dic-08	5.310,02	may-12	8.237,82		
ene-09	5.844,69	jun-12	8.066,03		
feb-09	5.971,98	jul-12	8.038,82		
mar-09	7.737,55	ago-12	8.030,20		

Fuente: ASOCAÑA. Estadísticas: Precios azúcar y etanol. Consultado; Julio 28 de 2014.
 Disponible en: <http://www.asocana.org/modules/documentos/2/166.aspx>