

Edgar Castillo

Investigador, ICP – Ecopetrol

Researcher ICP

Producción de etanol celulósico a partir de las tusas de palma. Perspectiva de Ecopetrol

Production of cellulosic ethanol from oil palm empty fruit bunch. Ecopetrol perspective.



Colombia

Producción a Escala Piloto de Etanol lignocelulósico a partir de Biomasa Colombiana

TRABAJAMOS
PARA PRODUCIR

BARRILES
LIMPIOS

*Castillo E.¹, Acero J, Garzón L.¹, Casas O.¹, Elander
R.², Shekiro J.², Tao L. ².*

1. Instituto Colombiano del petróleo –Ecopetrol

2. National Renewable Energy Lab-DOE



FUTURO ECOPEPETROL energía FUTURO COLOMBIA futuro eco
BIA FUTURO COLOMBIA futuro colombia energía futuro eco
energía ecopetrol energía Ecopetrol energía FUTURO colombia
COLOMBIA energía COLOMBIA energía FI 17

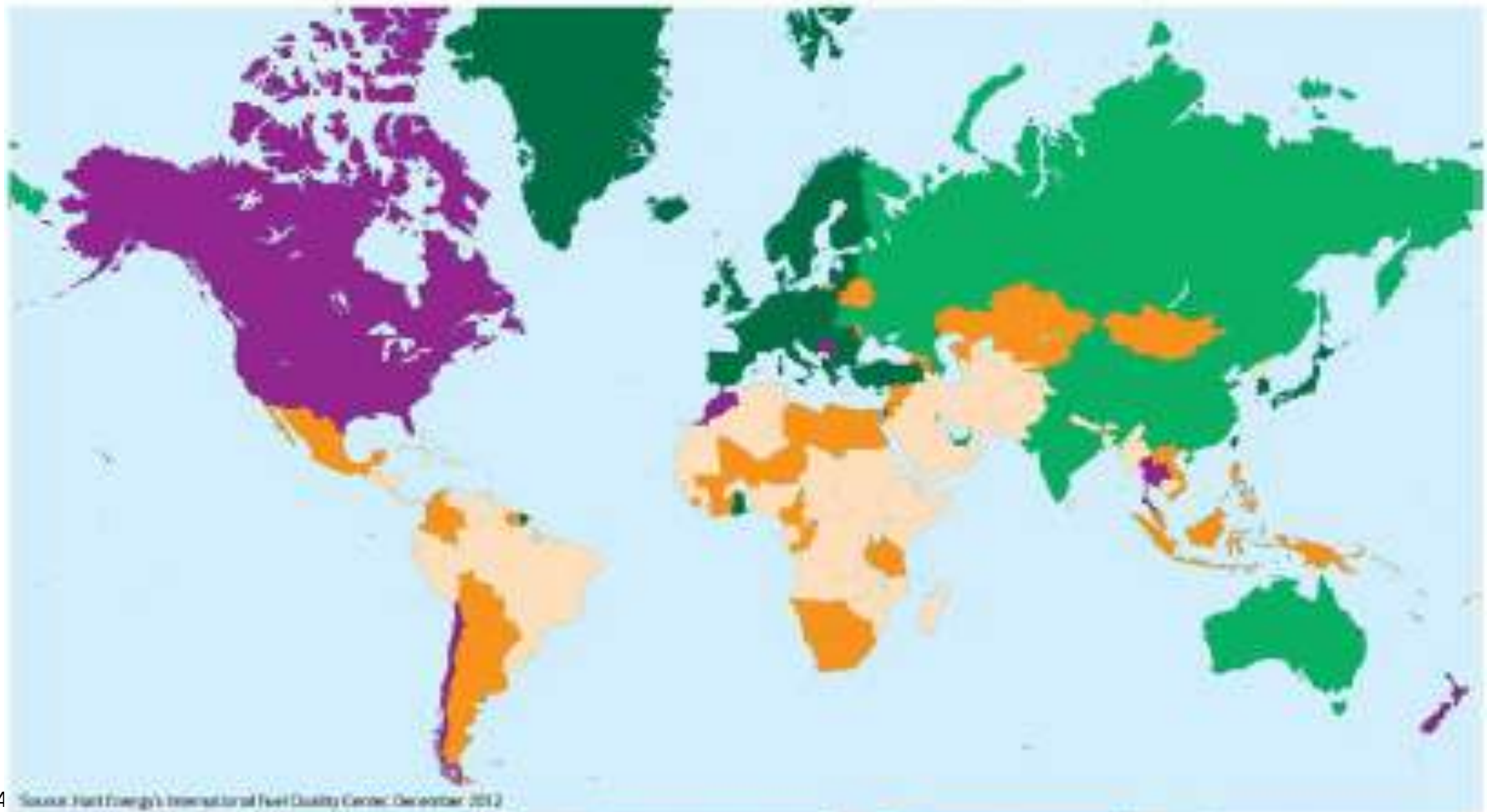
CONTENIDO

TRABAJAMOS
PARA PRODUCIR
BARRILES
LIMPIOS

- 1 Antecedentes
- 2 Experimentación
- 3 Integración de Proceso



Maximum Gasoline Sulfur Limits



4 Source: Fuel Energy's International Fuel Quality Center, December 2012

10 ppm

11 - 99 ppm

100 - 150 ppm

151 - 500 ppm

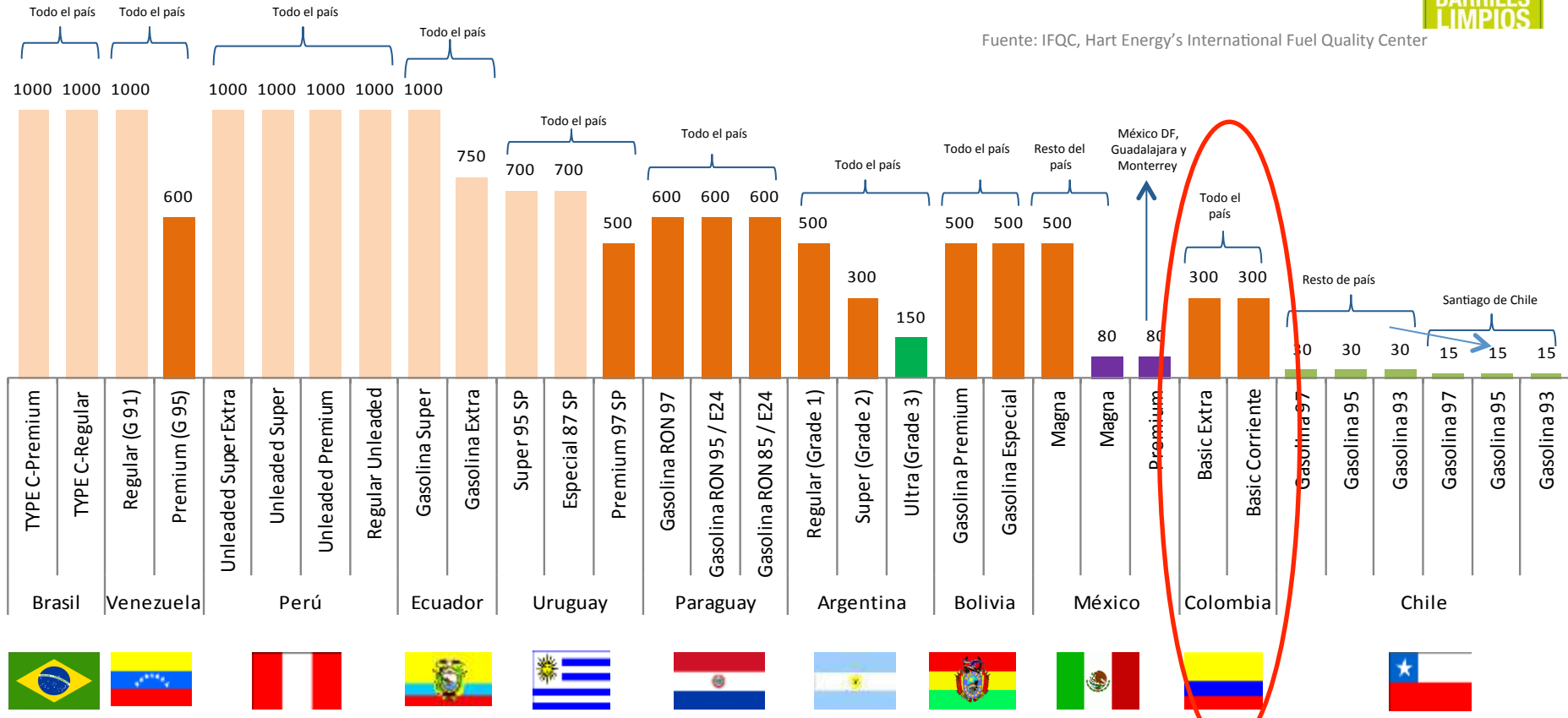
601 - 2,500 ppm

Countries may apply lower limits for different grades, regions, cities, or based on average content.
Detailed information on limits and regulations can be found at www.ifqc.org

Gasolina-Comparativo Regional en contenido de Azufre

TRABAJAMOS PARA PRODUCIR BARRILES LIMPIOS

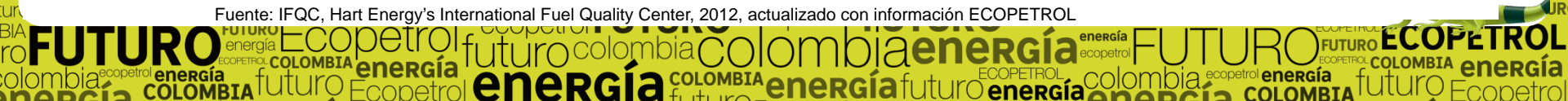
Fuente: IFQC, Hart Energy's International Fuel Quality Center



Comentarios

- Argentina entrega tres diferentes tipos de gasolina las cuales tienen diferente contenido de azufre de acuerdo a la calidad, estas son: (Regular Grade 1, Super Grade 2, Ultra Grade 3).
- México entrega dos tipos de gasolina (Magna y Premium), la gasolina Premium está en 80ppm de azufre, pero según regulación esta gasolina debería estar en promedio en 30ppm de azufre.
- Chile está entregando dos tipos de gasolina, una para Santiago de Chile y otra para el resto del país; actualmente en Santiago de Chile la gasolina que se entrega tiene un contenido de 15ppm de azufre.

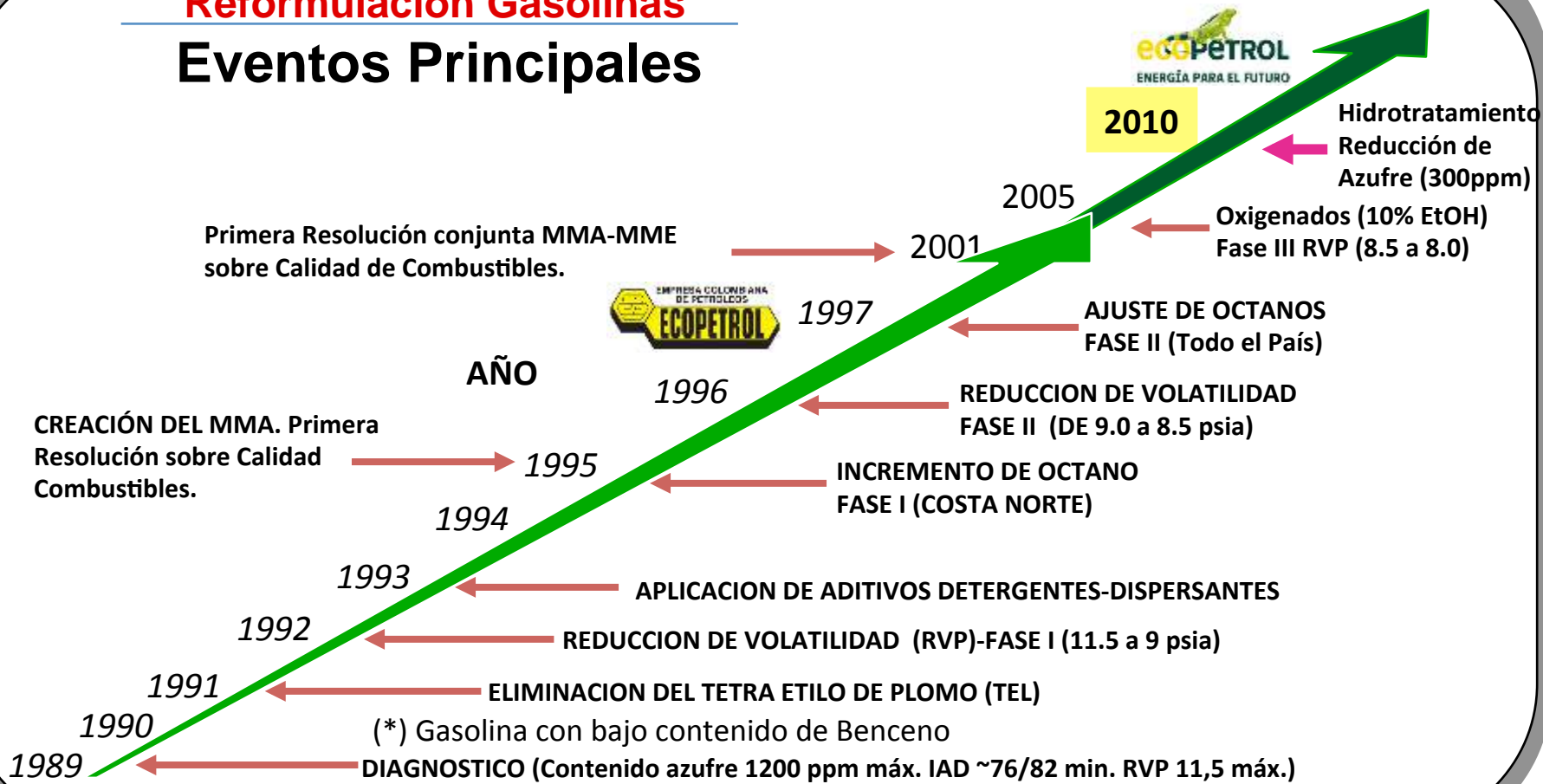
Fuente: IFQC, Hart Energy's International Fuel Quality Center, 2012, actualizado con información ECOPETROL



Programa de Reformulación de Combustibles de Ecopetrol

TRABAJAMOS
PARA PRODUCIR
BARRILES
LIMPIOS

Reformulación Gasolinas Eventos Principales



LÍNEA DE TIEMPO: Proyecto Etanol 2G en Ecopetrol - ICP

TRABAJAMOS
PARA PRODUCIR
BARRILES
LIMPIOS



Pruebas en
Motores Etanol 2G

Integración
de Proceso

Pruebas Escala Piloto:
Pretratamiento = 1Ton/día
Hidrólisis = 4000 L
Fermentación 9000 L

Tipo de Pretratamiento,
condiciones P, T y t, y
Rendimientos Biomosas
Colombianas.

Socio
Internacional:
DOE - NREL

Inventario de
Biomosas

Socio Nacional:
UIS - UNALMED



9

2011

2012

2013

2014

2015



1 Inventario de Biomasa



Motor de base datos Microsoft Access que permite la administración, control y captura de datos asegurando integridad de la información y seguridad



Microsoft Excel para la validación de los datos de forma rápida y ágil con conexión directa a la base de datos y sistema de colores para la identificación validez de la información



Visualización de informes cartográficos con ArcGis



Integración de resultados con modelos de optimización de cadena de suministros






Metodología Experimental

Se logró realizar proceso de Escalado desde laboratorio hasta pruebas piloto de 9000 L, dando viabilidad técnica a procesar mezcla de biomasa (bagazo y raquis)





TRABAJAMOS
PARA PRODUCIR
BARRILES LIMPIOS

LABORATORIO

3 TIPO DE BIOMASA

Raquis de Plátano	
Bagazo	
Raquis Palma	

4 TECNOLOGÍA DE PRETRATAMIENTO: 100 g

1. Acido Diluido	
2. Deacetilación/Acido,	
3. Explosión a Vapor,	
4. Agua Caliente	




HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA 1 L

3 tipos de Enzima



Fermentación 500 mL

BANCO

2 TIPO DE BIOMASA

Bagazo de Caña	
Raquis de Palma	
Mezclas(Bagazo+RP)	

2 TECNOLOGÍA DE PRETRATAMIENTO :
500 g

1. Acido Diluido	
2. Deacetilación/Acido	




HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA 1 L

1 enzima



1 L Fermentation

PILOTO

2 TIPO DE BIOMASA

Bagazo de caña	
Raquis de Palma	
Mezclas	

2 TIPOS DE PRETRATAMIENTO:
1 ton/d

1. Acido Diluido	
2. Deacetilado/Acido Diluido	

HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA 7000 L

1 enzima

9000-L Fermentation

2 Metodología Experimental – Caracterización de Biomasa

Composición Media Bagazo de Caña

Celulosa	42.12%
Xilana	22.70%
Otros Carbohidratos Estructurados	3.71%
Acetil	3.47%
Lignina	21.97%
Proteína	0.78%
Sólidos Insolubles (Ceniza y Otros)	5.23%

Composición Media Raquis de Palma

Celulosa	30,7%
Xilana	16,7%
Otros Carbohidratos Estructurados	2,5%
Acetil	0,3%
Lignina	17,9%
Proteína	3,7%
Sólidos Insolubles (Ceniza y Otros)	10,0%
Extractivos Totales	13,2%

400 muestras evaluadas entre bagazo de caña y raquis de Palma provenientes de las regiones Productoras en Colombia

Procedimientos estandarizados para caracterización de biomasa e identificación de condiciones de proceso que mejoran los rendimientos de acuerdo a la composición.

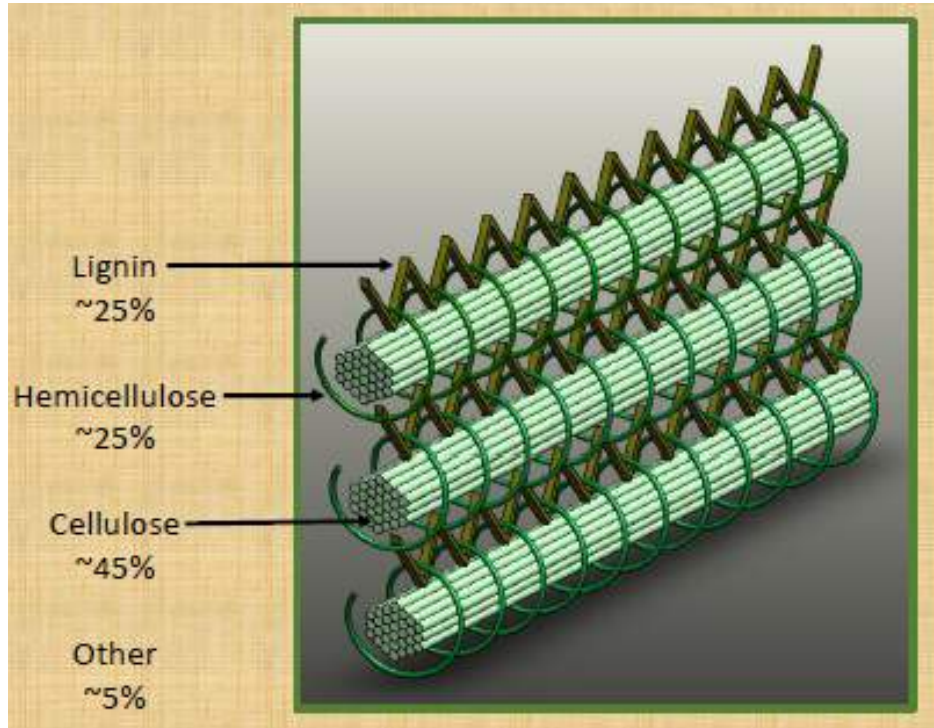


2 Objetivo del Pretratamiento de Biomasa

Energía Activación
Hemicelulosa



130-150
kJ/mol



La Hemicelulosa rodea la celulosa y dificulta el acceso a los azúcares C6.



La alta energía empleada en la Solubilización logra formar inhibidores de fermentación tales como Furfural y HMF, además de dímeros como Ácido Acético y Celobiosa.

El pretratamiento rompe la estructura de lignina, transforma la hemicelulosa en azúcares C5 y posibilita el acceso a los azúcares C6 de la celulosa.

Rendimientos para viabilidad económica.
Xilan a Xilosa > 70%



2 Metodología Experimental – Pretratamiento de Biomasa



4 Tipos de Pretratamiento Evaluados:

- Ácido Diluido.
- Explosión a vapor.
- Deacetilación / Ácido.
- Agua Caliente.

Rendimientos Piloto:

Xilan a Xilosa Monomérica = 70- 75 %

Xilan a Xilosa Oligomérica = 1,5 – 6,9 %

Xilan a Inhibidores: 0,5 – 1,0 %

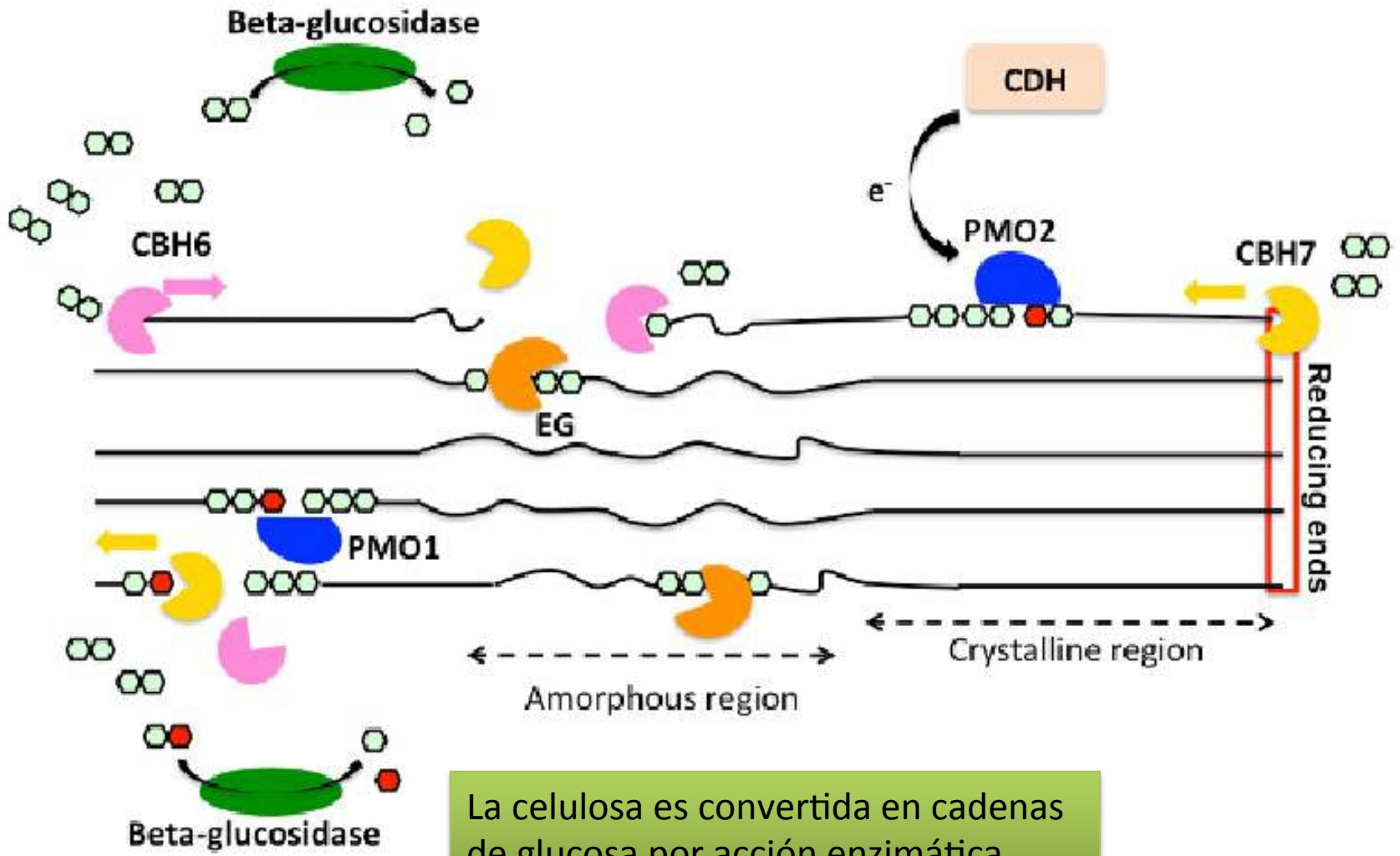


Retos:

Metalurgia, % Sólidos, Consumo Energía.

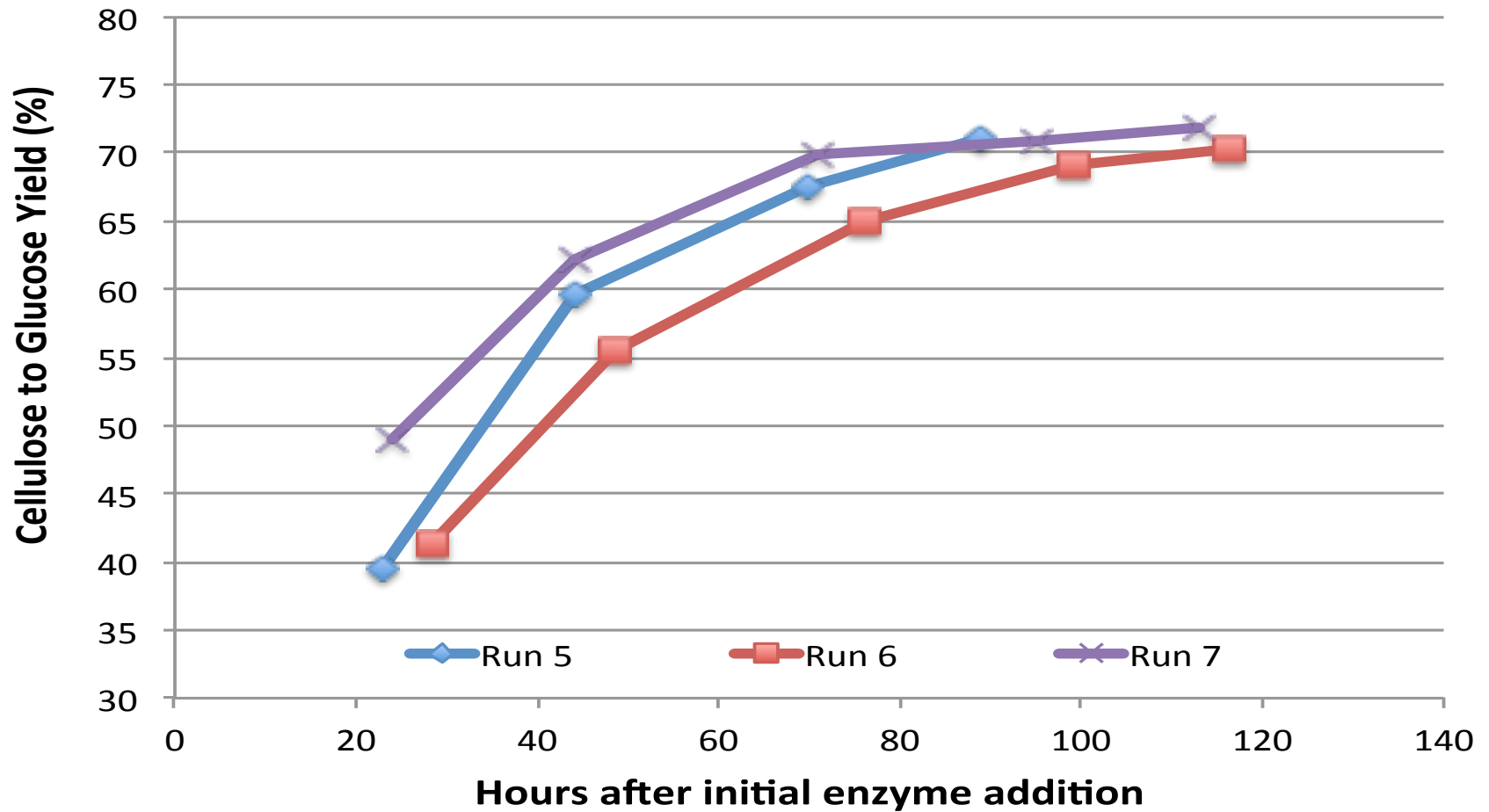


2 Objetivo de la Hidrólisis Enzimática



La celulosa es convertida en cadenas de glucosa por acción enzimática.

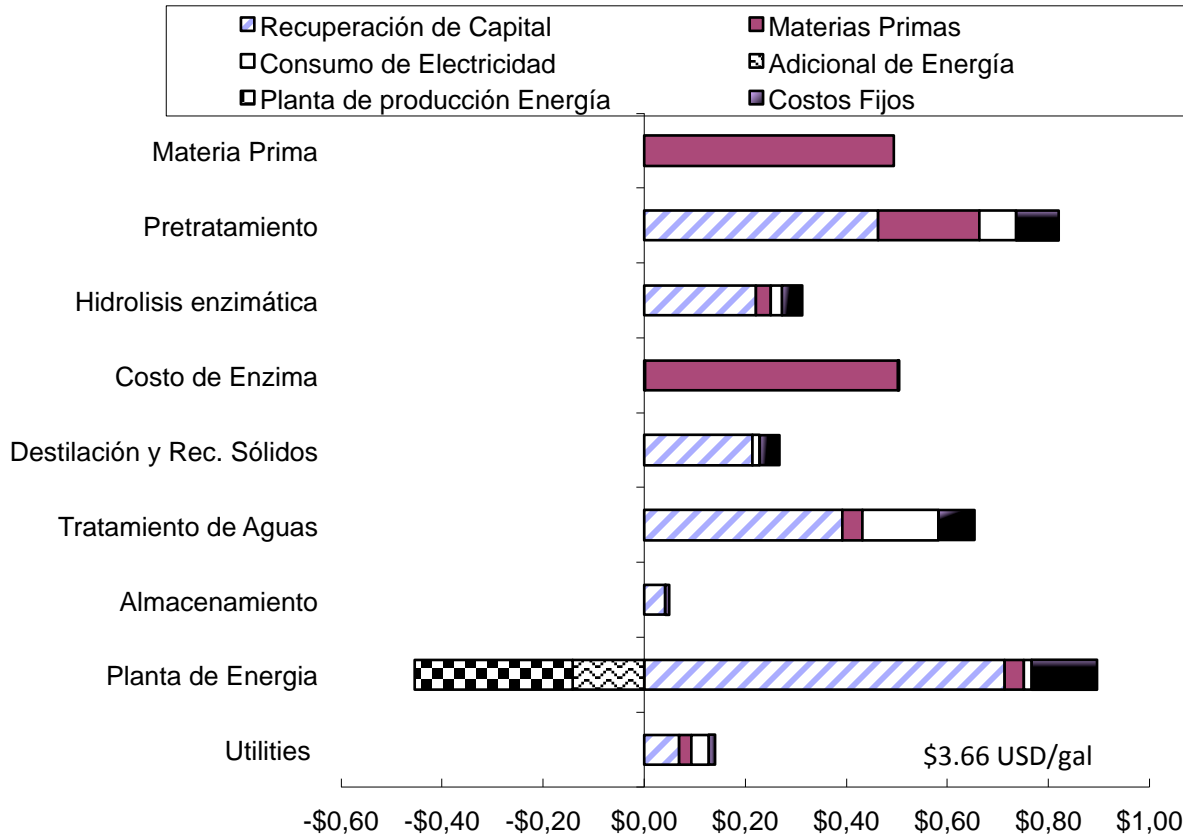
COMPORTAMIENTO HIDRÓLISIS ESCALA PILOTO



3

Integración de Proceso

Las mayores inversiones se centran en las etapas de pretratamiento, tratamiento de aguas y el proceso de producción de Energía y en costos operativos los principales corresponden a la biomasa y enzimas son los mayores.



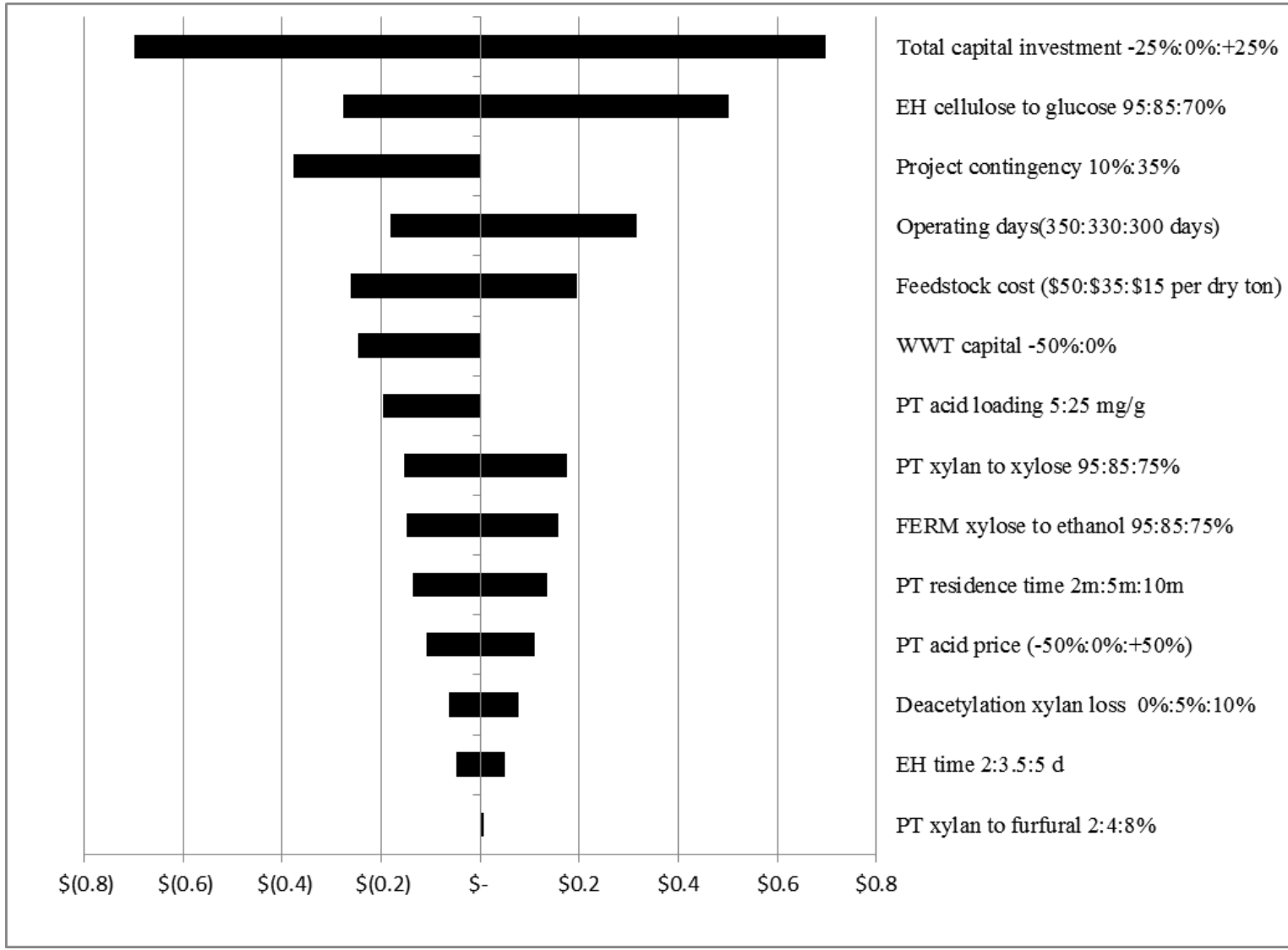
PREMISAS PARA EL ANALISIS FINANCIERO

Capacidad de la planta (ton biomasa/ día)	800
Tiempo de Operación(días)	330
Producción de Etanol (BD/MMGD)	1487 /21
Costo de Biomasa(USD/ton)	35
Ubicación	Llanos Orientales
Rendimiento Global	78 gal/ton (1.86 B/ton)
Vida útil proyecto	30 años
Factor de Localización	1.4
WACC	11.1%

CAPEX TOTAL \$MUSD	341.200
OPEX \$USD/gal	1.28
Contingencia	20%
Tiempo Construcción	3 años

3

Integración de Proceso: Sensibilidad de variables del proceso –Tornado Chart



3

ESCENARIO PLANTAS INDUSTRIALES ETANOL 2G

TRABAJAMOS PARA PRODUCIR BARRILES LIMPIOS

OPERANDO ACTUALMENTE

Crescentino Italia-Crescentino



BETARENEWABLES



novozymes

Rethink Tomorrow



GRUPPO MOSSI & GHISOLFI

GranBio Brasil-Alagoas



BETARENEWABLES

novozymes

Rethink Tomorrow



Project Liberty USA-Iowa



Advanced Biofuels

Hugoton USA-Kansas

ABENGOA

PROXIMAS A ENTRAR EN OPERACIÓN

Cofco China-Zhaodong

novozymes

Rethink Tomorrow



中糧 COFCO

自然之源 重塑你我

Raizen Brasil-Piraciaba

novozymes

Rethink Tomorrow



Dupont USA-Iowa



OTROS INVOLUCRADOS



NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY



3 Pruebas en Motores y en Ruta de Etanol 2G

TRABAJAMOS
PARA PRODUCIR
BARRILES
LIMPIOS



Gracias por su atención!



Finalistas en los premios *Platts Energy Awards* en la categoría *Sustainable Innovation*

