



**APROVECHAMIENTO DE LA SEMILLA DE AGUACATE CHOQUETTE
(*Persea americana Mill choquette*); PARA USO COMO ANTIOXIDANTE Y
GAS DE SÍNTESIS.**

Eva Sandrith Camacho Jaraba

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Química

Pamplona, Colombia

2017

**APROVECHAMIENTO DE LA SEMILLA DE AGUACATE CHOQUETTE
(*Persea americana Mill choquette*); PARA USO COMO ANTIOXIDANTE Y
GAS DE SÍNTESIS.**

Eva Sandrith Camacho Jaraba

Proyecto presentado como requisito parcial para optar por el título de:

Ingeniera Química

Director:

M.Sc. Erick German Yanza Hurtado

Universidad de Pamplona

Facultad de Ingenierías y Arquitectura

Departamento de Ingeniería Química

Pamplona, Colombia

2017

DEDICATORIA

A mis padres Hernán Camacho, Zeneth Camacho, y Gregorio Márquez, por brindarme su apoyo, estímulo constante y siempre creer en mis capacidades para culminar esta etapa.

A mi ángel del camino, Ana Santiago Berrio, que desde el cielo sé, comparte esta felicidad conmigo, a ella doy gracias por ser el cimiento que contribuyó a tener mi hermosa familia.

A mis hermanos por sus sacrificios, por aceptar que parte de los recursos destinados a ellos, fuesen míos para mi proceso de aprendizaje, a quienes señalo que; con un poco de dedicación y esfuerzo todo es posible.

AGRADECIMIENTOS.

A mi creador, padre eterno y perfecto Dios, a quien amo profundamente y contribuyó para que todo se confabulara e hiciera de mí la persona que el diseño desde el vientre de mi madre.

Agradezco a mi familia por siempre estar pendiente de mis necesidades económicas y por tenderme la mano cuando sentía que era momento de renunciar a mi sueño.

A mi iglesia Centro Cristiano Pamplona, pastores, y líderes que la dirigen; por abrirme las puertas no solo del templo sino de sus corazones y acompañarme en sus oraciones diarias, motivo que me llevo a permanecer con la sabiduría necesaria para culminar dicha carrera.

A mi prima Ana Celeny Márquez por ser mi compañera fiel, porque cuando otros no creyeron que sería posible y se alejaron, ella permaneció conmigo hasta el último momento, compartiendo sus bienaventuranzas en mis épocas de crisis económica y emocional.

Infinitas gracias a mi director de investigación Erick German Yanza Hurtado, quien siempre estuvo dispuesto a resolver mis dudas e inquietudes, por su dedicación y ayuda, tanto económica como en conocimiento.

A mis amigos Aldair Tovar, Samy León, Andrea Prado y Nini Yohana Sanchez, porque nada de esto hubiese sido posible sin su compañía y apoyo, por abrirme un espacio en sus vidas, aconsejarme cuando hizo falta, y acogerme sin poner reparos.

A mi centro de estudios, la Universidad de Pamplona, por ofrecerme los recursos necesarios para mi eficaz formación, sobre todo al programa de ingeniería química; ya que siempre veló para que se nos brindaran las herramientas necesarias, que nos llevaran a estar a la par de los demás planteles educativos.

A mis compañeros de generación, por compartir conmigo estos 5 años, a mis docentes, por brindarme su conocimiento en pro de mí desarrollo educativo; por sacarme lágrimas cuando consideraba que algo no era justo, porque eso me hizo ganar carácter. Y al hermoso municipio de Pamplona por acogerme como una hija más.

RESUMEN.

El presente trabajo se centró en el estudio para posible aprovechamiento de la semilla de aguacate variedad Choquette, disponible en el municipio de Pamplona – Norte de Santander (Colombia); para dicho estudio, se llevaron a cabo tres análisis: análisis proximal mediante determinación de porcentaje de humedad, cenizas, material volátil y carbón fijo; análisis elemental para determinación de porcentaje de C,N,S,O y análisis antioxidante mediante la técnica ORAC; posterior a esto, los resultados ayudarán a determinar la capacidad antioxidante y eficiencia de dicha semilla en producción de gas de síntesis, lo cual se llevó a cabo mediante el simulador Aspen Plus V8.8; donde se hicieron comparaciones con distintos valores de flujos y componentes; finalmente se pudo determinar que la variedad de fruto utilizado, es una buena opción, para producción de gas de síntesis, ya que presenta cantidades considerables de los compuestos CO, CO₂, N₂, H₂ y H₂O.

ABSTRACT

The present work focused on the study for the possible use of avocado seed Choquette variety, available in the municipality of Pamplona - Norte de Santander (Colombia); for this study, a three-point analysis was carried out: proximal analysis by determining the percentage of humidity, ash, volatile material and fixed carbon; elemental analysis to determine the percentage of C, N, S, O and antioxidant analysis using the ORAC technique; After this, the results will help determine the antioxidant capacity and efficiency of said seed in synthesis gas production, which was carried out using the Aspen Plus V8.8 simulator; where comparisons were made with values of flows and components; Finally, it can be determined that the variety of the fruit used is a good option for synthesis gas production, since it presents considerable quantities of the CO, CO₂, N₂, H₂ and H₂O compounds.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
LISTA DE TABLAS	9
LISTA DE FIGURAS.....	9
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	10
1. INTRODUCCIÓN.....	11
2. OBJETIVOS.....	12
2.1. Objetivo general	12
2.2. Objetivos específicos	12
3. MARCO TEÓRICO	13
3.1. AGUACATE.....	13
3.1.1. Variedad Choquette (Persea americana Mill choquette)	14
3.2. MERCADO NACIONAL.....	15
3.3. APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE AGUACATE	16
3.4. ANTIOXIDANTES.....	17
3.4.1. Antioxidantes en alimentos	18
3.4.2. Evaluación de la actividad antioxidante.....	19
3.5. GASIFICACIÓN.....	19
3.5.1. Gas de síntesis	20
3.5.2. Variables a analizar.....	20
3.6 ANÁLISIS Y TÉCNICAS INSTRUMENTALES.....	21
3.6.1 análisis próximo.....	21
3.6.2 Análisis elemental	21
3.6.3. Método ORAC	22
3.7. Simulación en Aspen Plus.....	22

4. METODOLOGIA	22
4.1. Obtención de la muestra.....	22
4.2. Análisis próximo.....	23
4.2.1. Contenido de humedad.....	23
4.2.2. Contenido de ceniza	24
4.2.3. Contenido de materia volátil.....	24
4.2.4. Carbón fijo	25
4.3. ANÁLISIS ELEMENTAL.....	25
4.4. SIMULACIÓN	25
4.5. ANÁLISIS DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE.	26
5. ANÁLISIS DE RESULTADOS	27
5.1. Simulación en Aspen Plus.....	29
Proceso para gasificación de la semilla.....	30
5.2. RESULTADOS CAPACIDAD ANTIOXIDANTE.....	38
6. CONCLUSIONES	42
7. RECOMENDACIONES	43
8. BIBLIOGRAFIA	44

LISTA DE TABLAS

Tabla 1.Principales características del aguacate.....	13
Tabla 2.Resultado análisis próximo	27
Tabla 3. Resultado análisis elemental	27
Tabla 4.Valores de flujos, componentes de interés, utilizando aire.	32
Tabla 5.valores de flujo, componente de interés, utilizando vapor de agua.	33
Tabla 6. Valores de temperatura a la salida del gas, utilizando vapor de agua.	37
Tabla 7. Valores de temperatura a la salida del gas, utilizando aire.....	37
Tabla 8. Valores ORAC sustancias.	39

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Descripción del fruto de aguacate	14
Figura 2. Fruto del aguacate, variedad Choquette.	15
Figura 3.Descripción de la semilla de aguacate.	17
Figura 4. Mapas a, Colombia; b, Norte de Santander; c, municipio de Pamplona. .	23
Figura 5. Esquema, proceso para determinación de porcentaje de humedad.....	24
Figura 6. Esquema para determinación de contenido en ceniza.	24
Figura 7. Esquema, proceso para hallar material volátil.	24
Figura 8.Analizador Sundry con detector IR	25
Figura 9. Equipo para determinación de capacidad antioxidante.....	27
Figura 10. Diagrama de Van Krevelen para distintos tipos de sólidos. (Jones et al., 2006).....	28
Figura 11. Proceso utilizado para producción de gas de síntesis, a partir de semilla de aguacate variedad choquette	30
Figura 12. Valores arrojados por la simulación.....	31
Figura 13. Comportamiento de componentes, cuando se altera el flujo de aire.	34
Figura 14.comportamiento del N2, cuando varía el flujo de aire.	35
Figura 15. Comportamiento de componentes, cuando varía el flujo de vapor de agua.....	35
Figura 16. Curva de calibración.....	38
Figura 17.comportamiento ORAC, si aumentamos la concentración de la infusión.	40

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

SÍMBOLO	TÉRMINO	UNIDAD
m_0	Masa inicial de la muestra	gr
m_f	Masa final de la muestra	gr
w	Contenido de humedad	%p/p
a_{wf}	Contenido de ceniza	%p/p
F_{waf}	Contenido de material volátil	%p/p
C_f	Carbón fijo	%p/p
<i>water</i>	H ₂ O	Lb/h
Nitro-01	N ₂	Lb/h
Hidro-01	H ₂	Lb/h
Carbo-01	CO	Lb/h
Carbo-01	CO ₂	Lb/h
AUC	Área de fluorescencia bajo la curva	-
ORAC	Capacidad de absorbanza de radicales libres de oxígeno.	μmol ET /mg de sustancia
ET	Equivalentes de trolox ®	μmol trolox ® /mg de sustancia
HPIC	Índice de polifenoles totales	-
USDA	División de Nutrición del Departamento de Agricultura de los EEUU	-
Teac	capacidad antioxidante equivalente de trolox	μmol trolox ® /g de sustancia

1. INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea Americana* mill.) es uno de los frutos más importantes que se cultivan en Colombia, en 2013 el país produjo 303,340 toneladas de aguacate y este representa el 6.43% de la producción mundial después de México (1,467,837 toneladas) y República Dominicana (387,546 toneladas). (FAOSTAT, 2017). Las variedades de aguacate que se cultivan en Colombia incluyen: Choquette, Santana, Lorena, Semil, Booth-8, Fuerte y Hass. Debido a la producción tan elevada de esta la industria de procesamiento de aguacate genera cantidades significativas de residuos (cáscara y semilla) que pueden procesarse para producir productos de valor agregado prometedoros y aplicaciones significativas en la industria alimenticia, química e industrias relacionadas. (Javier A. Dávila et al., 2017).

A pesar de esto la tendencia del sector agroindustrial es generar valor agregado sobre las pulpas de las materias primas, en el caso del aguacate se transforma en guacamoles, pulpas de aguacate preparadas, tratamientos para el cabello y aceites para uso culinario y cosmético. De acuerdo al Invima al año 2015 alrededor del 84% de las 30 empresas en el país, las cuales emplean a escala industrial el aguacate como materia prima se dedican a la producción de pulpas de aguacate y el restante a la producción de aceite, por lo cual denotamos que la importancia de transformaciones industriales se basa principalmente en el mesocarpio del fruto. (Park, Saleh, Vitry, & Wang, 2015)

En 2016, el *periódico unidad de medios de comunicación – unimedios*, de la universidad nacional de Colombia citó que: “en el país, alrededor del 70 % (en peso) de las frutas y verduras se convierten en subproductos o no comestibles”, dentro de los que se encuentra el fruto del aguacate Choquette, y los residuos que este genera, que representan un porcentaje considerable del total del fruto, y dichas investigaciones sobre los efectos biológicos y fitoquímicos de estos está en las etapas incipientes. (Restrepo et al., 2012);

Por ende y respondiendo a la anterior expectativa, el presente trabajo propuso nuevas formas de aprovechamiento de los residuos del fruto del aguacate variedad Choquette, mediante el estudio de las propiedades químicas de la semilla para utilización como antioxidante; que podrían ser fuente potencial para complementos alimenticios; así mismo la degradación térmica por medio de gasificación de la materia orgánica presente en la biomasa, ofreció información que nos ayudó a simular un proceso de gasificación de gas de síntesis donde los análisis a partir de dichos resultados nos indicó la factibilidad de aprovechar este

residuo en dicho proceso industrial, información que ayudará también a investigaciones posteriores para comparación con otras variedades de aguacate disponibles en Colombia.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Proponer el aprovechamiento de la semilla de aguacate variedad Choquette (*persea americana Mill choquette*); para uso como antioxidante y fuente de gas de síntesis.

2.2. Objetivos específicos

- 2.2.1 Determinar la actividad antioxidante de la semilla de aguacate variedad Choquette.
- 2.2.2 Establecer los parámetros de análisis elemental y proximal de la semilla de aguacate variedad Choquette.
- 2.2.3 Desarrollar la simulación para la producción de gas de síntesis utilizando los datos de descomposición térmica próximo y elemental, a través del software Aspen Plus V8.8.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. AGUACATE

El aguacate (*Persea americana* Mill) es el único representante de importancia económica que presenta un creciente valor en el mundo, no solo por su calidad nutritiva sino también por sus usos medicinales e industriales, es originario de México y Centro América e incluye alrededor de 2200 especies, entre las frutas comestibles de la familia Lauraceae, (Pérez. S.A., et al. 2015). Es un árbol de hoja perenne subtropical, se cultiva comercialmente en climas mediterráneos, subtropicales y tropicales en todo el mundo (Whiley y Schaffer, 1994); Esta fruta es aceitosa y posee un contenido de aceite de hasta 40% de su peso en pulpa (Pearson, 1975), su componente principal son ácidos grasos monoinsaturados (Swisher, 1988), que tienen propiedades saludables (Smith et al., 1983; Wills et al., 1986; Colquhoun et al., 1992), pero sus niveles de nutrientes dependen en gran medida de la variedad. (Hall et al., 1955)

Algunos aspectos de la especie relacionada con *Persea americana* Mill son:

Tabla 1. Clasificación taxonómica del aguacate.

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Lurales
Familia	Lauraceae
Género	<i>Persea</i>
Especie	<i>Persea americana</i> Mill

Fuente: Teliz-Ortíz, D y colaboradores.

En promedio, el árbol del aguacate puede alcanzar una altura de 20 metros; Sin embargo, cuando crece en plantaciones comerciales, no crece más de 5 m. Esta especie de planta tiene un tronco grueso y hojas alargadas, con varias ramas que generan un follaje denso. Es considerado un cultivo perenne porque se cultiva en todo el año. La fruta es una drupa, pera, verde claro a verde oscuro y púrpura a negro, piel áspera con una carne verde amarillenta y un gran hueso central, existen aproximadamente 400 variedades, por lo que podemos encontrar frutos de diferentes formas y pesos, que varían de 150 a 350 gr (subsecretaria de fomentos, 2011.)

La producción y comercio de aguacate en el mundo se basan principalmente en su uso como alimento, porque su pulpa es una valiosa fuente de energía, proteína y minerales (Belén, M. P. 2010). Esta fruta también tiene propiedades medicinales, ya que presenta compuestos con propiedad anti cicatrizante, así mismo el aceite extraído se puede utilizar en frotación para aliviar dolores y el reumatismo; la infusión de hojas se usa contra fiebre, cólicos menstruales y migraña. Además, se usa en cosmetología para la piel y el cabello con excelentes resultados (Santillán, M. E. 2008), También recientemente se ha demostrado que la planta del aguacate contiene carnitina, un aminoácido involucrado en el metabolismo del músculo cardíaco, que se está utilizando en el tratamiento de enfermedades del corazón y falta de apetito (Viikari, J. 2009)

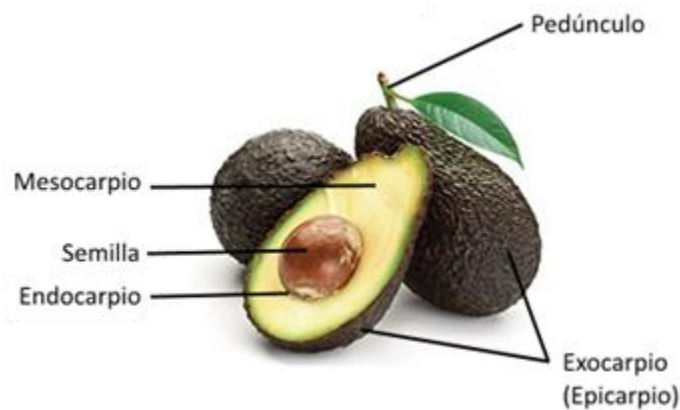


Figura 1. Descripción del fruto de aguacate

Fuente: citado por Wilson Polonia

3.1.1. Variedad Choquette (*Persea americana* Mill choquette)

Los aguacates variedad Choquette son híbridos de las razas Guatemalteca y Antillana que fue originada en Florida, EE.UU durante los 70's por R.D. Choquette y fue liberado en 1939. (Luis Eduardo Cossio.; et al. 2008) Este aguacate es uno de los más grandes, tiene un color verde brillante incluso cuando está maduro y se asemeja a un mango. Estos aguacates tienden a ser un poco más bajos en grasa y tienen un sabor afrutado y ligeramente herbáceo. La temporada de Choquette es de octubre a diciembre, aunque en algunos lugares es capaz de producirse en enero. (Lara Ferroni, 2017)



Figura 2. Fruto del aguacate, variedad Choquette.
Fuente: Lara Ferroni, libro: *an avocado a Day*.

Según reportes del DANE esta variedad, a pesar de ser un híbrido guatemalteco x antillano, ha demostrado gran adaptación en todos los climas de Colombia, por ende es común encontrar este cultivo en climas cálidos, medios y fríos; como lo es el caso de Norte de Santander; sus frutos son resistentes a las enfermedades más comunes y este tiene buena aceptación en el mercado nacional por su apariencia y calidad; la relación cáscara: semilla: pulpa es 3:17:80 %, respectivamente. Su desarrollo se produce bien hasta los 1700 msnm y se cosecha de 9 a 12 meses después de la floración (manual técnico BPA. 2015).

Los frutos producidos por este híbrido son grandes, de 510 a 1.100 gramos, de forma oval a esférica, cáscara casi lisa y lustrosa, correosa, de color verde claro a verde oscuro, brillante en la madurez; la pulpa es amarilla, el contenido de grasa es del 8 al 13 % y 1,55 % de fibra, de buena calidad, aunque algo insípida; la semilla es de tamaño mediano, adherida a la cavidad que la contiene. Para poscosecha se recomienda que la temperatura de almacenaje de los frutos esté entre 4 y 10 °C (Bernal, J. et al., 2014).

3.2. MERCADO NACIONAL.

Según datos de *Finagro* “El área sembrada con aguacate en Colombia está cercana a las 8.000 hectáreas de unas 10 variedades diferentes. Entre las zonas productoras están: Costa Atlántica, específicamente los departamentos del Cesar, Guajira y Bolívar; Tolima, Antioquia, Caldas, Huila, Risaralda y Valle”. (Finagro 2012). Reportes en el 2016 de la *revista caracol radio* indicaron: “que las exportaciones de aguacate crecieron un 241%, y las ventas en el exterior permitieron unos ingresos de 35 millones de dólares para los productores, unas 18.201 toneladas de aguacate se exportaron en Colombia en el último año, una variación de 228% comparado con el año inmediatamente anterior cuando solo se vendieron en los mercados

internacionales 5.543 toneladas. Colombia aprovecha el déficit de aguacate que hay en el mundo y por ahora solo lo suplen productores de Chile y de México”. Así mismo el aguacate, un fruto que es común en las mesas colombianas y no puede faltar en una ensalada, un asado, o en platos muy típicos como el ajiaco y otras sopas, se está abriendo paso en los mercados del mundo.

Pese a que el país lo produce en grandes cantidades, el espíritu exportador apenas se está impulsando. Datos del *Ministerio de Comercio* indican que: “en 2011 Colombia vendió 171.000 dólares en aguacates. En 2015 las ventas superaron los 10,5 millones de dólares y en 2016 la cifra llegó a 35 millones de dólares, equivalentes a 18.200 toneladas. La cifra sigue creciendo de manera rápida, al punto que en el primer semestre de este 2017 las ventas al exterior habían superado los 25 millones de dólares. En seis meses se vendieron 13.556 toneladas, lo que significa un crecimiento del 34,8% con relación al mismo periodo de 2016 y con notable tendencia a seguir creciendo.” (Revista caracol radio.2017).

Zonas que en el pasado eran dedicadas básicamente al café y que están en proceso de diversificación, han encontrado en el aguacate una gran alternativa.

Así mismo la variedad choquette en Pamplona Norte de Santander (Colombia), es una variedad importada desde el país de Venezuela, donde se presenta la siembra y distribución de este, medio por el cual llega hasta este municipio de Pamplona, donde se encuentra con más auge entre la comunidad, este fruto presenta una venta semanal de lunes a jueves, de aproximadamente 200 aguacates y de viernes a domingo de: 270, por cada vendedor encuestado voz a voz, en el mercado principal. Este sitio cuenta con alrededor de 10 distribuidores que se dedican a la comercialización de este fruto, de aquí que la comunidad adquiera aproximadamente 4700 aguacates semanales en este lugar; debido a que la semilla representa el 17 % de masa del fruto, y que el peso de este oscila entre 510 a 1100 gr, la cantidad de semilla producida varía de 407,49 kg a 878,9 kg.

3.3. APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS DE AGUACATE

La semilla del aguacate representan entre el 12-28% del peso de la fruta; dependiendo de la variedad, esta contiene una concentración de ácidos grasos C18:2 (38,9%) y C18:3 (6,57%); así mismo desde tiempos memorables los Aztecas utilizaban cocciones de la semilla como tratamiento micótico e infecciones parasitarias, también, ciertas preparaciones de la semilla reducen el dolor al ser aplicado como tónico (Del Refugio et al., 2004). Después de la transformación industrial, aprovechamiento o consumo del fruto, se tienen materiales residuales (semilla y epicarpio) que podrían ser fuente potencial para complementos

alimenticios por los metabolitos presentes en ellos (Ayala et al., 2011). Estudios fitoquímicos previos realizados sobre la semilla del aguacate se han identificado diferentes clases de metabolitos entre los que se encuentran glucósidos del ácido abscísico, importantes en la maduración del embrión (Del Refugio et al., 2004), fitosteroles, triterpenos (Werman et al., 1990; Lozano et al., 1993), , ácidos grasos con enlaces oleofínicos y acetilénicos (Kashman et al., 1969), ácidos furanoicos (Farines et al., 1995), dímeros de flavanoles (Geissman and Dittmar, 1965), proantocianidinas oligoméricas (Thompson et al., 1972; Valeri and Gimeno, 1953), polifenoles y antocianinas (Hurtado et al., 2011; Wang et al., 2010). Por otra parte, los extractos de semillas obtenidos empleando acetona/agua/ácido acético han mostrado actividad frente al ensayo de absorbancia del radical oxígeno (ORAC) (Wang et al., 2012) y la inactivación del radical 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) (Wang et al., 2010). Los extractos de la semilla empleando cloroformo como solvente, fueron activos frente a la proliferación de líneas de células epiteliales orales (Ding et al., 2007)

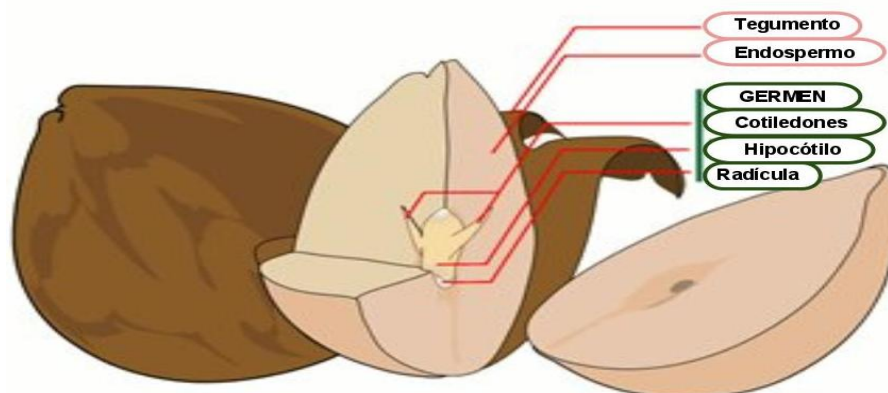


Figura 3. Descripción de la semilla de aguacate.
Fuente: citado por Wilson Polonia

3.4. ANTIOXIDANTES.

Antioxidante es una molécula que inhibe la oxidación de otras moléculas. La oxidación es una reacción química que transfiere electrones o hidrógeno de las sustancias a un agente oxidante. Las reacciones de oxidación pueden producir radicales libres. A su vez, estos radicales pueden iniciar reacciones en cadena, cuando las reacciones en cadena ocurren en una célula, pueden causar daño o muerte a la célula. Los antioxidantes terminan estas reacciones en cadena al eliminar los intermedios radicales e inhibir otras reacciones oxidativas (Ames et al., 1993, Shenoy y Shirwaiker 2002).

Los antioxidantes a menudo son agentes reductores como, tioles, ácido ascórbico o polifenoles (Sies, 1997). El término antioxidante se ha definido de varias maneras como sustancias que en pequeñas cantidades pueden prevenir o retrasar en gran medida la oxidación de materiales fácilmente oxidables, o cualquier sustancia cuando está presente en bajas concentraciones en comparación con las de un sustrato oxidable. Significativamente retrasa o previene la oxidación de esas sustancias (Halliwell y Gutteridge 1999).

En la ciencia de los alimentos, se considera como una sustancia presente en los alimentos cuando está presente en bajas concentraciones en comparación con los de un sustrato oxidable disminuye significativamente o previene los efectos adversos de especies reactivas tales como oxígeno reactivo, especies de nitrógeno o normales y funciones fisiológicas del ser humano (Huang et al., 2005).

Las grasas y aceites presentes en los alimentos se deterioran a través de varias reacciones de degradación como se muestra en la presente sección, estas reacciones se dan por efecto del calor y del almacenamiento a largo plazo, lo cual se traduce en una disminución del valor nutricional del alimento y de la calidad sensorial. Un retraso de estos procesos de oxidación beneficiaría a la cadena de producción de alimentos (Pokorny et al., 2001). Existen diferentes definiciones de antioxidantes (Wanasundara and Shahidi, 2005), no obstante, en un sistema biológico, un antioxidante puede ser definido como “cualquier sustancia que cuando está presente en bajas concentraciones en comparación al sustrato oxidable, retarda significativamente o previene la oxidación del sustrato” (Halliwell et al., 1995) como sustrato oxidable se puede considerar a un alimento, el cual tiene una variedad compleja de biomoléculas susceptibles a la oxidación, tales como proteínas y lípidos.

3.4.1. Antioxidantes en alimentos

En grasas y aceites, los antioxidantes retardan el inicio de la oxidación o disminuye la velocidad de oxidación; por tanto, el uso de antioxidantes en alimentos incrementa la vida útil o vida media del material (Wanasundara and Shahidi, 2005). La oxidación de lípidos produce compuestos con diferentes olores y sabores para luego afectar otras moléculas del alimento.

3.4.2. Evaluación de la actividad antioxidante

En general la actividad antioxidante de un compuesto o de un extracto es evaluada por la resistencia que estos poseen a la oxidación de los lípidos contenidos en él; por consiguiente, la mayoría de los métodos usados para evaluar la actividad antioxidante hacen seguimiento a los pasos de oxidación de los lípidos, los cuales pueden categorizarse en tres grupos:

- ✓ Decaimiento del substrato, compuesto de prueba o consumo de oxígeno
- ✓ Formación de productos de oxidación a partir del substrato oxidable
- ✓ Formación o decaimiento por la exposición con radicales libres (Shahidi and Zhong, 2005)

3.5. GASIFICACIÓN

La gasificación se considera una tecnología clave para el uso de biomasa. Para promover esta tecnología en el futuro, los procesos y sistemas de gasificación avanzados, rentables y altamente eficientes son necesarios. (Steffen Heidenreich and Pier Ugo Foscolo. 2014). La gasificación de combustibles sólidos es la transformación de sustancia, en combustible gaseoso, que trae como resultado el impacto del medio de gasificación en combustible, a alta temperatura y bajo presión atmosférica o aumentada (Tomeczek J., et al. 1991). La gasificación de biomasa, o la producción de gas a partir de biomasa, implica la quema de biomasa bajo suministro de aire restringido para la generación de gas productor. El gas productor es una mezcla de gases: de monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H₂), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y nitrógeno (N₂). (Tomado de: Biomass Gasification)

Esta mezcla se llama gas productor. El gas productor se puede usar para ejecutar motores de combustión interna (tanto de compresión como de encendido por chispa), se pueden usar como sustituto para el aceite del horno en aplicaciones de calor directo y se puede utilizar para producir, de forma económica y viable, metanol; un químico extremadamente atractivo que es útil tanto como combustible para el calor motores, así como materia prima química para las industrias. Dado que cualquier material de biomasa puede someterse a la gasificación, este proceso es mucho más atractivo que la producción de etanol o biogás donde solo los materiales de biomasa seleccionados pueden producir el combustible. (Anil K. Rajvanshi. 1986)

La gasificación del material carbonizado puede realizarse de manera parcial para producir carbones activados, que poseen un desarrollo avanzado de la microporosidad y del área superficial y pueden emplearse en procesos de limpieza

de flujos líquidos y gaseosos. Estos usos contribuyen al desarrollo de aplicaciones de mayor valor agregado para la biomasa y sus carbonizados. El estudio de las condiciones de reacción de los carbonizados de biomasa y la determinación de expresiones para su cinética de reacción representa de esta manera un aspecto básico para la optimización de los procesos de gasificación y de combustión. (Sonia Rincón et al. 2011)

3.5.1. Gas de síntesis

El gas de síntesis se define como un gas que contiene H_2 y CO como principal componente de combustible. El gas de síntesis crudo inevitablemente contiene cantidades considerables de CO_2 y H_2O . Dado que el gas de síntesis generalmente se utiliza para la síntesis de productos químicos y combustibles, la concentración de N_2 generalmente debe ser minimizada. (Van der Drift and H. Boerrigter, 2006)

El gas de síntesis, es producido por reacciones con alto contenido de CO , que es efectivo para la síntesis de productos químicos oxigenados valiosos. Lamentablemente, no existe una industria con tecnología establecida para el reformado de metano con dióxido de carbono, a pesar de los incentivos potencialmente atractivos en economía y beneficios ambientales. La razón principal de esto, es la reacción de formación de carbono, que rápidamente desactiva catalizadores de reformado convencionales si se usan sin la presencia de vapor. (Shaobin Wang and G. Q. (Max) Lu. 1996).

El gas de síntesis producido en las grandes instalaciones para la gasificación de residuos puede ser utilizado para generar electricidad. Los procesos de gasificación de carbón se utilizaron durante muchos años para la fabricación de gas de alumbrado (gas de hulla) que alimentaba el alumbrado de gas de las ciudades y en cierta medida, la calefacción, antes de que la iluminación eléctrica y la infraestructura para el gas natural estuvieran disponibles. (Sonia Rincón et al. 2011)

3.5.2. Variables a analizar.

- La composición del gas de síntesis: La composición de hidrogeno, metano y monóxido de carbono es el elemento clave en el ajuste pues estos componentes son los que definen el poder calórico del gas y la relación entre ellos justifica la posibilidad de utilizar el gas en procesos de síntesis química.
- El contenido energético de los gases de gasificación: estima la potencia producida en el gasificador para este caso que es el elemento de mayor peso en

la eficiencia del proceso así mismo se tiene en cuenta si se producen emisiones de NH_3 y H_2S .

- El estudio de sensibilidad: se concentra en el uso de la semilla de aguacate Choquette debido a que es una de las fuentes de biomasa sólida más abundante en Norte de Santander y para la cual no existe una infraestructura de recolección y disposición final. (Luis E. Arteaga., et al 2012)

3.6 ANÁLISIS Y TÉCNICAS INSTRUMENTALES.

3.6.1 Análisis próximo

El análisis próximo de una muestra de carbón se realiza para determinar los parámetros de humedad residual, materia volátil, ceniza, azufre, carbón fijo y el poder calorífico de acuerdo a los procedimientos implementados en las normas ASTM, D3172, D3173, D3174, D388, D4239, D5865 respectivamente. Esto tiene beneficios de costo y maquinaria para su manejo y la de su calidad para fines industriales y comerciales; además ayudan a mejorar el rendimiento de la máquina usada para el manejo del carbón en la industria, optimizar métodos de muestreo e intentar disminuir las implicaciones ambientales de algunos de sus componentes. (Alvaro Posso., 2014)

3.6.2 Análisis elemental

El análisis elemental es una técnica que proporciona el contenido total de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre presente en un amplio rango de muestras de naturaleza orgánica e inorgánica tanto sólidas como líquidas. La técnica está basada en la completa e instantánea oxidación de la muestra mediante una combustión con oxígeno puro a una temperatura aproximada de 1000°C . Los diferentes productos de combustión CO_2 , H_2O y N_2 , son transportados mediante el gas portador (He) a través de un tubo de reducción y después selectivamente separados en columnas específicas para ser luego desorbidos térmicamente. Finalmente, los gases pasan de forma separada por un detector de conductividad térmica que proporciona una señal proporcional a la concentración de cada uno de los componentes individuales de la mezcla. Los campos de aplicación de esta técnica son diversos y van desde el análisis de combustibles fósiles (carbón, coque, gasolina, aceite minerales, gasoil, etc.) hasta la industria farmacéutica y la química fina, pasando por el análisis de suelos, industrial alimenticia, cerámicas, etc. (Universidad de Alicante, servicios técnicos de investigación. 2017)

3.6.3. Método ORAC

ORAC (Capacidad atrapadora del radical oxígeno). Este método es un ensayo que mide la capacidad de un compuesto para atrapar el radical peróxilo, relevante en la oxidación de lípidos en los alimentos; mediante un mecanismo de transferencia de un átomo de hidrógeno HAT. Los radicales peróxilo (ROO^{\bullet}) generados por iniciadores de radicales libres, reaccionan con una sonda fluorescente para formar un producto no fluorescente; es decir, a medida que avanza la reacción la sonda fluorescente se consume y disminuye la fluorescencia. El antioxidante adicionado al medio compite con la sonda fluorescente, manteniéndose la fluorescencia. Este método puede medir la expresión antioxidante de compuestos hidrofílicos y lipofílicos en una muestra, y es muy utilizado para determinar la capacidad antioxidante de los alimentos y productos naturales. (*Sandra Zapata et al 2014.*)

3.7. Simulación en Aspen Plus.

Aspen Tech ha desarrollado muchos programas dentro del marco de la simulación de procesos químicos, entre ellos se destaca el paquete Aspen Engineering Suite, el cual básicamente está desarrollado para aplicaciones del campo de la ingeniería, en general. Entre los diversos programas de este paquete se encuentran programas como Aspen Plus, Aspen Dynamics, Aspen Properties, Aspen OLI, Aspen Process Manual, entre otros.

Aspen Plus es un programa básicamente de simulación de procesos químicos, en el cual además de simulaciones de diagramas de flujo, se puede realizar: (1) estimación de propiedades de compuestos, (2) análisis de sensibilidad de variables de proceso, (3) obtener especificaciones de diseño de proceso, y, (4) síntesis y análisis de procesos químicos, entre otras tareas del diseño de procesos y equipos (Simulación de Procesos Químicos en Aspen Plus, 2011)

4. METODOLOGÍA

4.1. Obtención de la muestra.

Para la realización de dichos análisis, los aguacates variedad choquette se obtuvieron del mercado principal del municipio de Pamplona Norte de Santander (Colombia); estos frutos fueron adquiridos de un mismo distribuidor para garantizar iguales propiedades químicas, en la semilla.

Para los análisis próximos; las muestras fueron trasladadas al laboratorio de control de calidad y química, de la Universidad de Pamplona, donde se redujo su tamaño, según lo indicaba cada norma.

El análisis elemental y de capacidad antioxidante se llevó a cabo en la Universidad Industrial de Santander (UIS); para ello, las muestras se prepararon desde uno de los laboratorios de química, de la Universidad de Pamplona, y luego de hacer una adecuada rotulación, y empackado, se hizo un envío hasta los laboratorios de química y cromatografía de la Universidad Industrial de Santander (UIS).



Figura 4. Mapas a, Colombia; b, Norte de Santander; c, municipio de Pamplona.

Fuente: Google maps

4.2. Análisis próximo.

4.2.1. Contenido de humedad

Se determinó por medio de la norma DIN 51718. Una muestra sólida con peso de $19,89 \pm 1$ g y tamaño de partículas menor a 1 mm, se calentó en un horno marca Vulcan, hasta una temperatura de 105°C (figura 5) y se sostuvo a esta temperatura por una hora. El contenido de humedad se calculó de acuerdo a la siguiente expresión:

$$W = \frac{m_0 - m_f}{m_0} \quad (4-1)$$

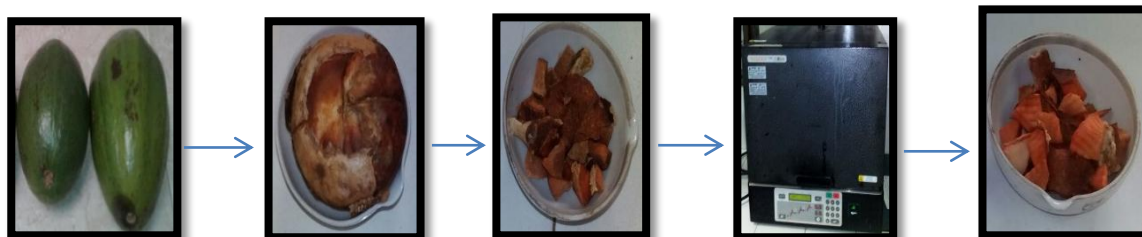


Figura 5. Esquema, proceso para determinación de porcentaje de humedad.
Fuente: laboratorio control de calidad (UP)

4.2.2. Contenido de ceniza

Norma DIN 51719; Por medio de esta prueba se determinó el contenido de material mineral; 18 ± 1g de muestra se calentó en un horno marca terrígeno, desde temperatura ambiente hasta 505°C en un tiempo de 60 min (figura 6). Mientras la muestra se enfriaba al final de la prueba, esta se dejó en reposo en un desecador, ya que la ceniza de las biomásas tienen carácter higroscópico. Para el cálculo del contenido de ceniza en base libre de agua se empleó la relación:

$$a_{wf} = \frac{m_f}{m_o} \left(\frac{1}{1-w} \right) \quad (4-2)$$



Figura 6. Esquema para determinación de contenido en ceniza.
Fuente: laboratorio control de calidad (UP)

4.2.3. Contenido de materia volátil

Para esta prueba se pesaron muestras de 25 ± 1 g y tamaño de partícula menor a 0,2 mm. Las muestras se secaron según lo indica la norma DIN 51720: el horno se precalentó a 900 °C (figura 7) y se dejó estabilizar la temperatura; posterior a esto se introdujeron las muestras, después de 7 min se retiraron del horno y se dejaron enfriar hasta que alcanzaron temperatura ambiente. Finalmente se volvieron a pesar. Para el cálculo del contenido de materia volátil en base seca y libre de ceniza se utilizó la siguiente expresión:

$$F_{waf} = \left[\left(\frac{m_o - m_f}{m_o} \right) - w \right] \left(\frac{1}{1-w} \right) \left(\frac{1}{1-a_{wf}} \right) \quad (4-3)$$



Figura 7. Esquema, proceso para hallar material volátil.

Fuente: laboratorio de química. (UP)

4.2.4. Carbón fijo

El carbono fijo es la parte que no es volátil y que quema en estado sólido. El porcentaje de carbono fijo no se obtiene pesando el residuo, este se obtuvo por diferencia una vez conocidas la humedad, las cenizas y las materias volátiles.

$$c_f = 100 - (w + a_{wf} + F_{waf}) \quad (4-4)$$

4.3. ANÁLISIS ELEMENTAL.

Tratamiento previo: Luego de lavada y secada la semilla, se sometió a un proceso de reducción de partículas y posterior maceración de esta, para obtener disminución de tamaño. Seguidamente se llevó a empacado al vacío a temperatura ambiente, para garantizar, iguales propiedades en la semilla al llegar al lugar de destino.

Finalmente el análisis se llevó a cabo por medio del equipo analizador Sundry con detector IR y método EDTA-Na (acidoetilendiaminotetracético) (figura 8), para ello la semilla se fragmentó y maceró para obtener tamaños de partículas de aproximadamente 0,1 cm de tamaño. Finalmente se determinaron los porcentajes de C, H y N de dicha semilla.



Figura 8. Analizador Sundry con detector IR

Fuente: laboratorio de química, Universidad Industrial de Santander (UIS)

4.4. SIMULACIÓN

Para llevar a cabo la simulación del proceso para obtención de gas de síntesis, se utilizó el simulador de procesos Aspen Plus V8.8; la realización del módulo de gasificación del proceso se hizo por medio de la guía de sólidos *Getting Started Modeling Processes with Solids*, y esta comprendió 3 etapas específicas, que consistieron en: etapa 1. Una etapa de secado, que procedió con una separación flash, donde se separaron la biomasa, del porcentaje de agua contenido en ella; etapa 2. el producto de la etapa 1 paso a un reactor tipo Yield, que se usó para simular un reactor con rendimiento conocido, ya que este no requiere reacción estequiométrica o cinética, y finalmente tenemos la etapa 3 donde se usó un reactor tipo Gibbs que ayudó a representar el proceso de pirolisis de la semilla. Todo el proceso simulado se llevó a cabo en un sistema adiabático e isobárico. (Figura 11)

4.5. ANÁLISIS DE CAPACIDAD ANTIOXIDANTE.

Tratamiento previo: luego de lavada y secada la semilla, esta se sometió a cocción con temperatura inferior a 50°C, para garantizar que no se perdiera la capacidad antioxidante en dicha muestra; dicha infusión se preparó, en un vaso de 250 mL, y se hizo la adición de agua, con cantidad aproximada de 100ml, hasta que la semilla quedó completamente sumergida, luego de 20 min, la muestra se retiró del fuego y se dejó en reposo a temperatura ambiente; seguidamente se retiró la semilla y se hizo empaclado de la infusión resultante.

La determinación de la capacidad antioxidante en el extracto, se realizó empleando la metodología ORAC. El método fue estandarizado en el laboratorio de cromatografía del centro de investigación de biomoléculas (CIBIMOL) de la Universidad Industrial de Santander (UIS). La medición se realizó en un lector de microplacas *Tuner biosystems*, a $\lambda=490$ nm de emisión y $\lambda=510-570$ nm de excitación. (Figura 9)



Figura 9. Equipo para determinación de capacidad antioxidante.

Fuente: laboratorio de cromatografía, Universidad Industrial de Santander, (UIS)

En la curva de calibración, (sustancias de referencia y las muestras enviadas), se calcularon los valores de área bajo la curva (AUC). Con esos valores se construyó la curva de calibración (figura 16) y empleando la ecuación de la gráfica se determinó el valor ORAC.

5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Tabla 2. Resultado análisis próximo

Análisis próximo (% p/p)			
humedad	cenizas	Material volátil	Carbón fijo
21,55 ±0,12	12,515±0,1	57,438±0,02	8,497

Fuente: autor

Tabla 3. Resultado análisis elemental

Análisis elemental (% p/p)						
C	N	H	S	O (*)	O/C	H/C
13,26	0,33	8,12	0,1	59,09	0,4456	0,6124

Fuente: Universidad Industrial de Santander (UIS)

(*) Calculado por diferencia= (O= 100-(C+H+N+S+humedad))

Los resultados que representan la tabla número 2, nos muestran que esta variedad de aguacate presenta bajo porcentaje de humedad respecto a otras variedades, así mismo el carbón fijo que es lo que está arraigado a la semilla, posee un valor considerable respecto al peso neto del fruto.

Por otro lado la tabla número 3, rescata los porcentajes de compuestos químicos de interés, donde se denota, que el oxígeno es el elemento con mayor presencia en la semilla, pero los elementos N y S, se encuentran en cantidades mínimas, lo cual era de esperarse debido a la naturaleza del fruto.

Los valores de las relaciones, O/C y H/C ubican a la biomasa utilizada en una zona inferior del diagrama de Van Krevelen (figura 10), con valores de 0,4456 para la relación carbono/oxígeno y de 0,6124 para la relación hidrogeno/carbono, lo cual indica, que el tipo de biomasa utilizada se encuentra con un bajo poder calorífico, esto se podría asociar a la presencia de grupos aminos y amidas en la composición de dicha semilla, que afectaría las relaciones, al modificar las sustituciones de oxígeno por sustituciones derivadas de compuestos que contienen nitrógeno, también se pudo deber al porcentaje de humedad contenido en la semilla, ya que cuando las biomásas presentan menor porcentaje de humedad, tienen mayor uso posible en fuentes de energía, ejemplo de esto es la variedad en tipos de madera. Así mismo las relaciones para este tipo de materiales tienen unos valores de ratios que oscilan entre 0,6 – 0,8 para O/C y 1,4 – 1,8 para H/C; de aquí que sean materiales con gran capacidad para generar energía; pero en este caso no se obtuvo el mismo resultado según valores de las relaciones y analizando el diagrama.

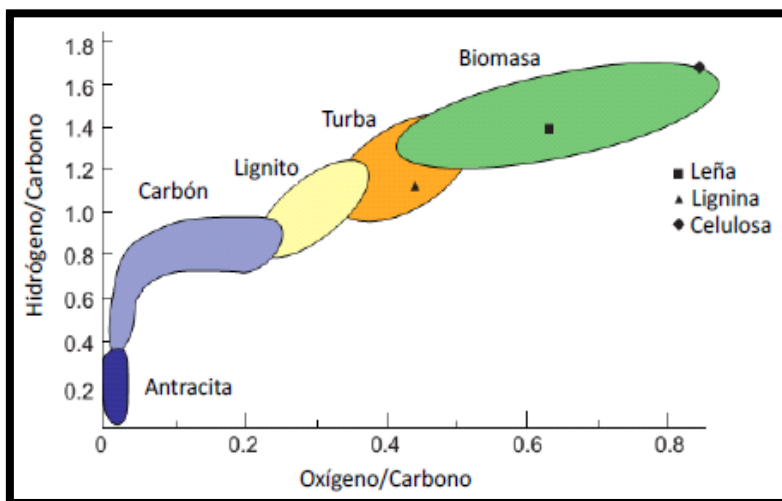


Figura 10. Diagrama de Van Krevelen para distintos tipos de sólidos. (Jones et al., 2006)

Fuente: (Jones et al., 2006)

5.1. Simulación en Aspen Plus.

En el proceso se utilizó, una base de 10000 lb/h de semilla, que ingresó a un proceso de secado con 50000lb/h de nitrógeno, a una temperatura de 25°C y presión de 1 atm, las composiciones de análisis elemental y proximal fueron colocadas en las especificaciones de la alimentación y luego se llevaron a un separador donde se hizo una disociación de la semilla seca con el porcentaje de agua contenido en ella, así mismo, antes del proceso de pirolisis la semilla se llevó a un reactor tipo yield, en el cual se especificó el rendimiento del producto, las distribuciones del tamaño de partículas y los atributos de los componentes de la ceniza que se forma, este también trabaja a condiciones ambiente. Finalmente este producto se pasó a un reactor de Gibbs donde se llevó a cabo el proceso de gasificación, con una alimentación de un componente inerte. Dichos rendimientos en los gases se analizarón, con dos componentes inertes distintos, aire y vapor de agua (tabla 4 y tabla 5); lo cual nos permite deducir cual conviene más al proceso.

Proceso para gasificación de la semilla

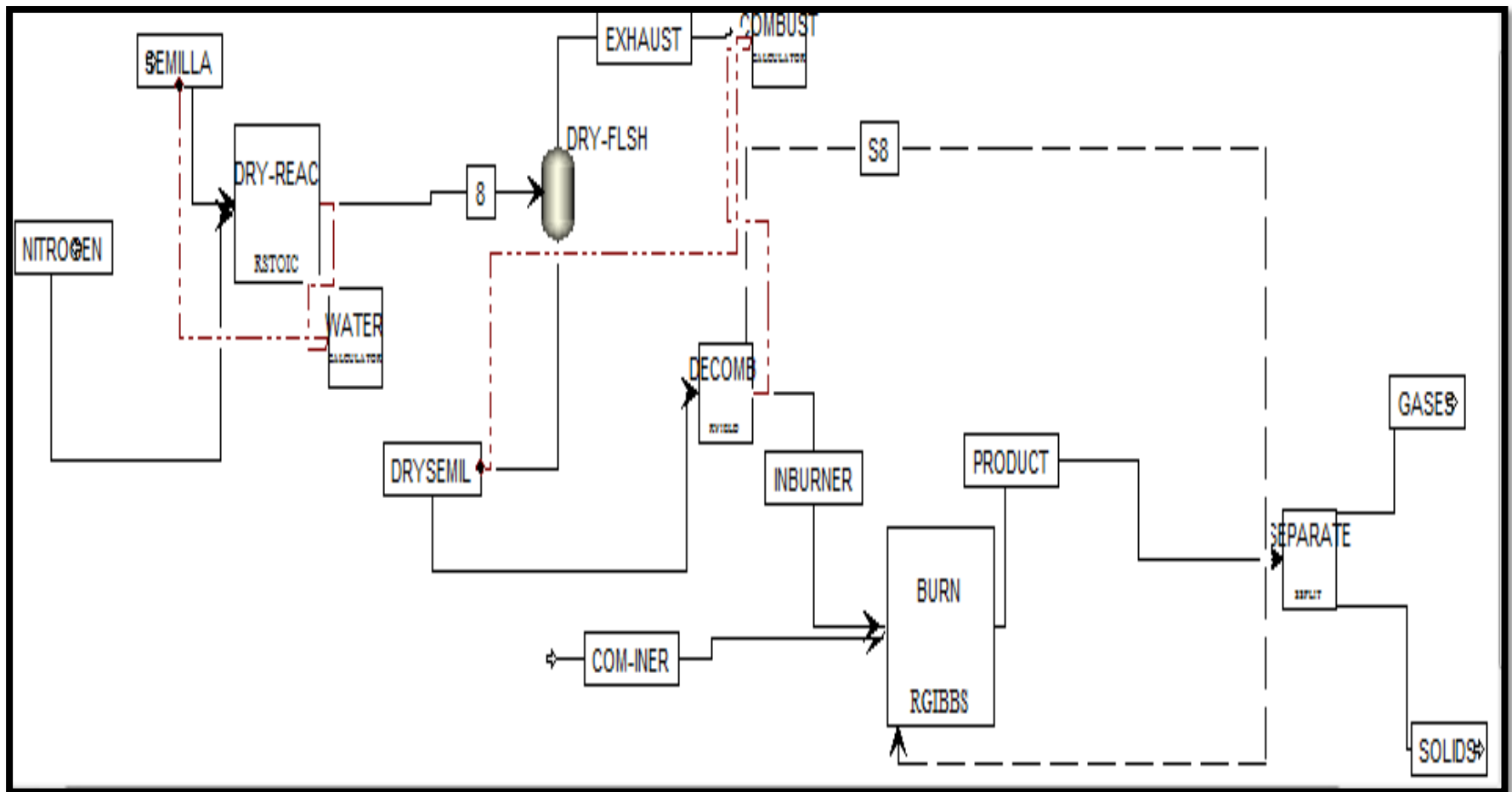


Figura 11. Proceso utilizado para producción de gas de síntesis, a partir de semilla de aguacate variedad choquette

Fuente. Autor

Pirolisis Pepa Aguacate					
Stream ID		SEMILLA	INBURNER	COM-INER	GASES
Temperature	F	77,0	77,0	77,0	2505,1
Pressure	psia	14,696	14,700	14,696	14,696
Mass VFrac		0,000	0,091	1,000	0,996
Mass SFrac		1,000	0,068	0,000	0,004
*** ALL PHASES ***					
Mass Flow	lb/hr	10000,000	8000,000	90000,000	98000,000
Volume Flow	cuft/hr	139,823	42147,126	1,22252E+6	7,67245E+6
Enthalpy	Btu/hr	1,95903E+7	-4,4078E+7	> -0,001	1,95266E+7
Density	lb/cuft	71,519	0,190	0,074	0,013
Mass Flow	lb/hr				
WATER			6546,464		8123,807
NITRO-01			181,692	69037,470	69113,756
OXYGE-01			181,692	20962,530	18956,588
NITRO-02					1,041
NITRI-01					225,129
SULFU-01			181,692		trace
SULFU-02					360,243
SULFU-03					3,449
HYDRO-01			181,692		0,025
CHLOR-01			181,692		0,034
HYDRO-02					186,822
C			181,692		
CARBO-01					0,037
CARBO-02					665,684
METHA-01					trace

Figura 12. Valores arrojados por la simulación.

Fuente: autor

Si analizamos la figura número 12, rescatamos que los componentes a interés (H_2 , CO , N_2 , H_2O y CO_2), fueron obtenidos en el proceso de gasificación, el nitrógeno fue el componente que se presentó en mayor cantidad con valores de 69113,756 lb/hr de producción, por cada 10000 lb/hr de semilla que fueron introducidas al proceso, seguido a este, está el agua, con un valor de 8123,807 lb/hr, que representa una cantidad considerable ya que anteriormente se había pasado la semilla por un proceso previo de secado.

Por su parte el nitrógeno se encuentra con una cantidad de 69113,756 lb/hr, este valor se deriva debido a que en la etapa número 3 del proceso, se introdujo una corriente de aire; con un valor de 90000 lb/hr, como el nitrógeno representa el 71% de este compuesto, el valor arrojado en el producto es considerable.

Finalmente tenemos el CO y CO₂, si observamos el CO se encuentra en menor cantidad que el CO₂, lo cual se pudo presentar debido a la cantidad de oxígeno presente en la semilla, y a las condiciones ambientales utilizadas.

Tabla 4. Valores de flujos, componentes de interés, utilizando aire.

COM-INER UTILIZADO (AIRE)								
relación	Flujo de aire (Kg/h)	T (°C)	P (atm)	CO ₂ (Kg/h)	CO (Kg/h)	H ₂ (Kg/h)	H ₂ O (Kg/h)	N ₂ (Kg/h)
1	40823	25	1	301.945	0.0195	0.01315	3684.88	106.793
2	40823	25	5	301.96	0.0077	0.005	3684.96	31349.29
3	40823	50	1	301.94	0.02086	0.014	3684.872	31346.18
4	40823	50	5	301.96	0.00907	0,006	3684.94	31345.95
5	22680	25	1	291.267	6.8152	2.6957	3660.90	17305.81
6	22680	25	5	296.93	3.2123	1.2474	3673.85	17304.14
7	22680	50	1	290.42	7.3541	2.896	3659.11	17301.3
8	22680	50	5	296.51	3.4786	1.3430	3673	17299.5
9	4535.9	25	1	48.078	161.59	162.41	2233.60	3332.48
10	4535.9	25	5	59.19	154.525	135.625	2472.96	3315.514
11	4535.9	50	1	47.8612	161.733	162.896	2229.24	7345,111
12	4535.9	50	5	58.935	154.68	0.00317	2468.98	3314.64

Fuente: autor

Las tablas número 4 y 5 nos representan las variaciones de flujos de cada componente presente en el gas de síntesis, los análisis se hicieron para sugerir una mejor opción en cuanto a costos y lo más importante rendimientos de cada uno de los componentes que necesitamos en el gas.

Para tal análisis se hizo una comparación de los componentes, vapor de agua y aire, como primer parámetro que ingresa al reactor de Gibbs; seguidamente también se hizo un análisis de sensibilidad donde se utilizaron: tres valores distintos de flujo, dos valores de temperaturas, para el caso del aire y finalmente dos valores para la presión; para saber cuál de las relaciones utilizadas es la más idónea a utilizar.

La tabla 4 por su parte, refleja cada valor obtenido al variar los parámetros manipulados, utilizando aire como componente inerte; en este caso la relación que

presento mayor eficiencia de N₂, H₂ y CO fue la numero 11, que utilizaba 4535.9 kg/hr de aire, presión de 1 atm y temperatura de 50°C, con esta relación se obtuvieron mayores valores de estos productos en los gases que salen del reactor. Así mismo quien presento menores valores de estos, fue la numero 1 para el nitrógeno, la numero 2 para CO y la numero 12 para H₂; ya que fueron relaciones que arrojaron cantidades muy mínimas, con valores de: 106.793, 0.0077, y 0.00317 (kg/hr) respectivamente. Seguidamente la relación número 2, es la que mejor se ajusta a la producción de CO₂ y H₂O; ya que aunque otras relaciones presentan iguales valores, esta es la que se ajusta a los dos compuestos; a diferencia de la número 11 y 12 que contiene los valores más bajos de producción.

Tabla 5. valores de flujo, componente de interés, utilizando vapor de agua.

COM-INER UTILIZADO (VAPOR DE AGUA)								
Relación	Flujo de vapor de agua (Kg/h)	T (°C)	P (atm)	CO ₂ (Kg/h)	CO (Kg/h)	H ₂ (Kg/h)	H ₂ O (Kg/h)	N ₂ (Kg/h)
1	40823	120	1	1442.37	16.129	522.37	211658.2	400.56
2	40823	120	5	0.0066	o	254.611	212850	400.56
3	22680	120	1	1355.56	71.379	518.39	123509	400.56
4	22680	120	5	767.705	0.50045	Trazas	124035.7	400.56
5	4535.9	120	1	623.068	537.579	724.85	33478.8	358.48
6	4535.9	120	5	785.586	434.1431	519	35318.5	389.39

Fuente: autor

Para escoger la mejor relación, para producción de gas de síntesis, se optó por la que presentó mejores valores de todos los componentes de interés en el producto, como se refleja en la numero 11, ya que aunque el valor arrojado para el agua no es el más elevado, para los otros 4 componentes si refleja valores significativos.

La tabla número 5, por su parte, nos refleja los valores para vapor de agua como componente inerte que entra al reactor, en este caso se utilizó una temperatura de 120 °C para todas las corrientes, debido a que si se hace una disminución en la temperatura, se produce una condensación que nos llevaría a tener el agua en estado líquido; de aquí que solo tengamos 6 relaciones.

La relación que mejores valores presentó para N₂, CO₂ fue la número 1, ya que arrojó 400.5623 y 1442.37 kg/hr de flujo; por su parte el CO y H₂ tuvieron mejores resultados con la relación número 5, podemos inferir que a pesar de que una relación me arroje un buen resultado para uno o dos componentes no significa que los demás tendrán igual comportamiento. Finalmente está el agua con un valor de 212850 kg/hr para la relación número 2, dato que brinda el mejor resultado de todas las relaciones.

Seguidamente las relaciones con valores más bajos fue la numero 2, para el CO₂, y CO; número 4 para H₂, número 3 para el H₂O y número 5 para el N₂; los valores fueron de: 0.0066 para CO₂, 0 para CO, 123509 para H₂, 358.48 para H₂O kg/hr y trazas para el H₂; por ende, la relación que se ajusta a todos los componentes, fue la numero 6, que nos arrojó valores para todos y además de ello, utiliza bajos valores de flujo de vapor de agua.

Finalmente la relación con mejores valores y el componente inerte recomendable para usar en dicho proceso, es el vapor de agua con la relación número 6, ya que los rendimientos son mayores, y los valores obtenidos en el gas son 2 veces más elevados que con el aire.

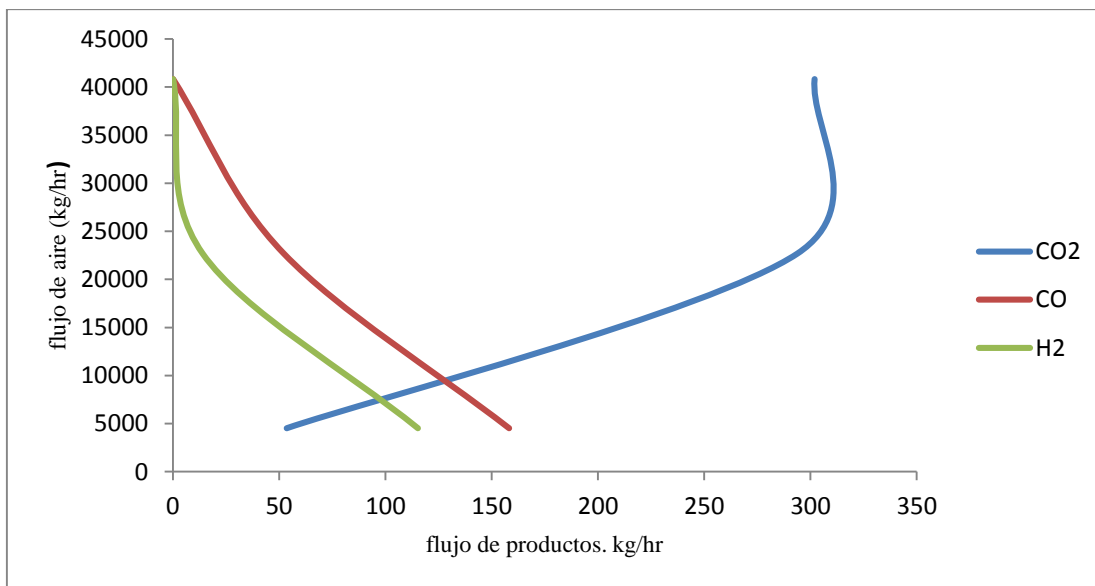


Figura 13. Comportamiento de componentes, cuando se altera el flujo de aire.

Fuente: autor

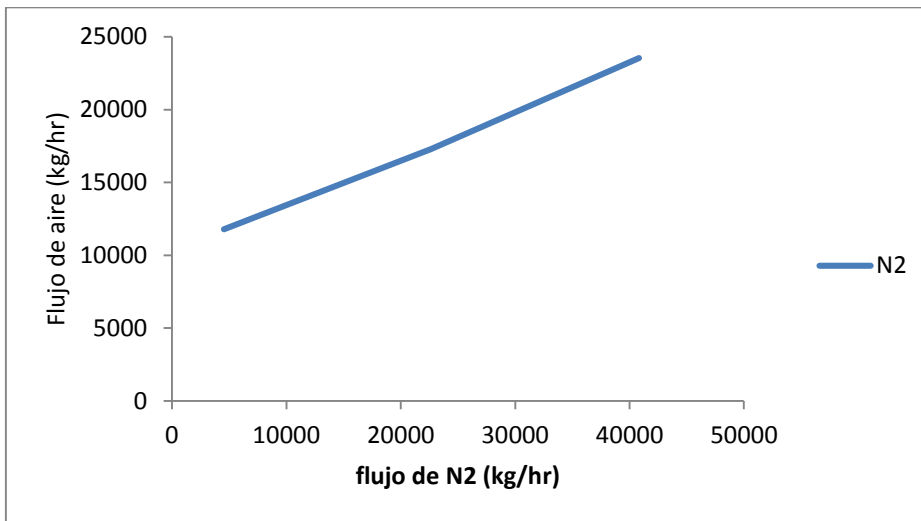


Figura 14. comportamiento del N2, cuando varía el flujo de aire.

Fuente: autor

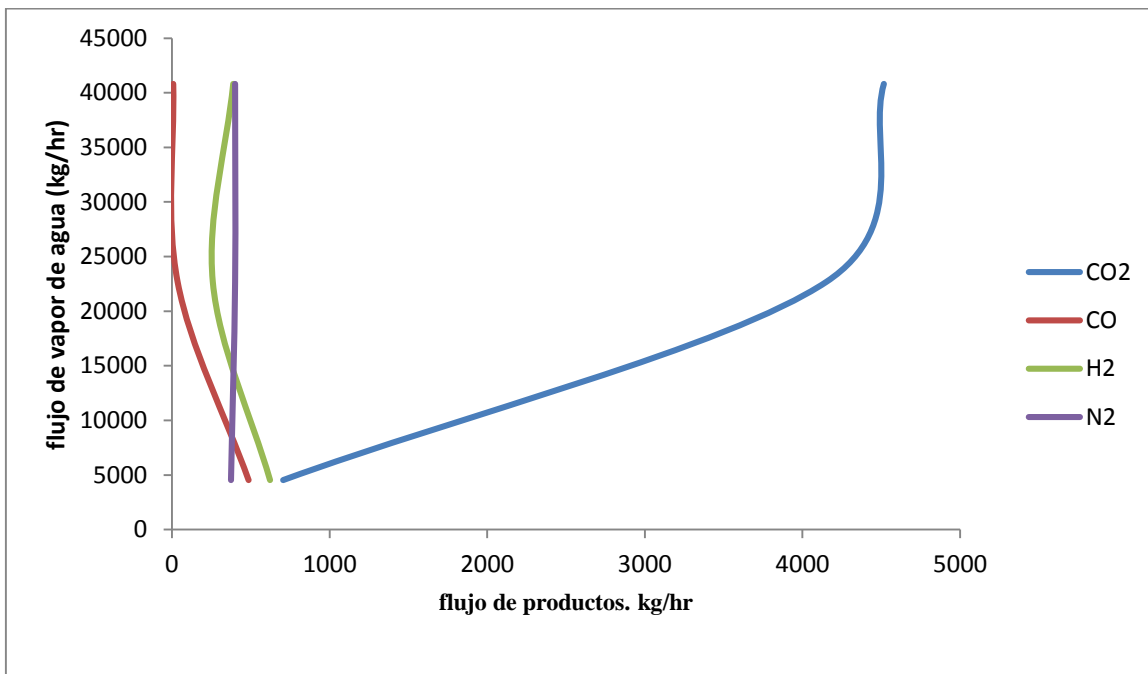


Figura 15. Comportamiento de componentes, cuando varía el flujo de vapor de agua.

Fuente: autor

En las figuras 13, 14 y 15 notamos que los comportamientos de los productos presente en el gas de síntesis, varían respecto a la cantidad de flujo inerte; en la tabla número 13 y 14, por ejemplo; el CO2 y N2 tienen un comportamiento directamente proporcional, para el caso del CO2 ocurre algo interesante y es la

estabilización desde un flujo aproximado de 30000 kg/hr de aire, es decir que a mayor flujo de aire, la tendencia del CO₂ y N₂ es a aumentar su cantidad en los gases.

Distinto a esto ocurre con el CO Y H₂, el cual tuvo un comportamiento inversamente proporcional al flujo de aire, es decir que estos componentes varían de forma favorable cuando su flujo de aire es menor; factor que también nos ahorra costos de producción.

Finalmente la figura número 15, en donde el flujo inerte utilizado es vapor de agua, los productos tienden a tener un comportamiento similar a los reportados en la figuras anteriores, a diferencia del N₂ en donde sus flujos disminuyen juntamente con el flujo de vapor de agua, se observa una tendencia casi lineal hasta un flujo aproximado de 15000 kg/hr, y luego disminuye.

Tabla 6. Valores de temperatura a la salida del gas, utilizando vapor de agua.

COM-INER (vapor de agua)			
Flujo (Kg/h)	T (°C) entrada	P (atm)	T (°C) Salida producto
40823	120	1	763.33
		5	151.5
22680	120	1	1141.44
		5	329
4535.9	120	1	2616.61
		5	2719.5

Fuente: autor.

Tabla 7. Valores de temperatura a la salida del gas, utilizando aire.

COM-INER (AIRE)			
Flujo (Kg/h)	T (°C) entrada	P (atm)	T (°C) Salida producto
40823	25	1	1373.94
		5	1373.94
	50	1	1390.67
		5	1373.94
22680	25	1	2054.28
		5	2059.5
	50	1	2067.222
		5	2072.778
4535.9	25	1	3274.78
		5	3464.94
	50	1	3277.28
		5	3467.7

Fuente: autor.

Otra variable notable a analizar, es la temperatura a la cual sale nuestro producto, después del proceso de pirólisis, en el reactor de Gibbs. En la tabla 6, notamos que la relación 2 es la que menor temperatura tiene a la salida del reactor, con valores de 151.5 °C, por otro lado la relación 6 que fue la recomendada para el proceso debido a las composiciones, de los gases, es la que mayor valor arroja de temperatura, con un dato de: 2719.5 °C, si analizamos, este valor de temperatura es elevado y por ende; necesitará un proceso posterior para poder recuperar algunos componentes, e introducir otros, en procesos posteriores.

Otra variable importante a analizar es la presión a la cual está operando nuestro proceso, como se nota en la tabla número 6, 5 y 4; la presión de operación que mejor resultados nos arrojó fue 5 atm; ya que en todos los casos los valores de los gases aumentarán.

En la tabla número 7, la relación número 12, fue la que mayor temperatura arrojó en el proceso, con valores elevados de 3467.7 °C a diferencia de la relación número 3 que se presenta con valores mucho más bajos.

Otro factor interesante a analizar, es la producción del gas, conforme cambia el flujo inerte. Cuando utilizamos vapor de agua; las temperaturas que arroja el reactor son mucho menores, que cuando utilizamos aire; independientemente de la presión que se esté utilizando.

5.2. RESULTADOS CAPACIDAD ANTIOXIDANTE.

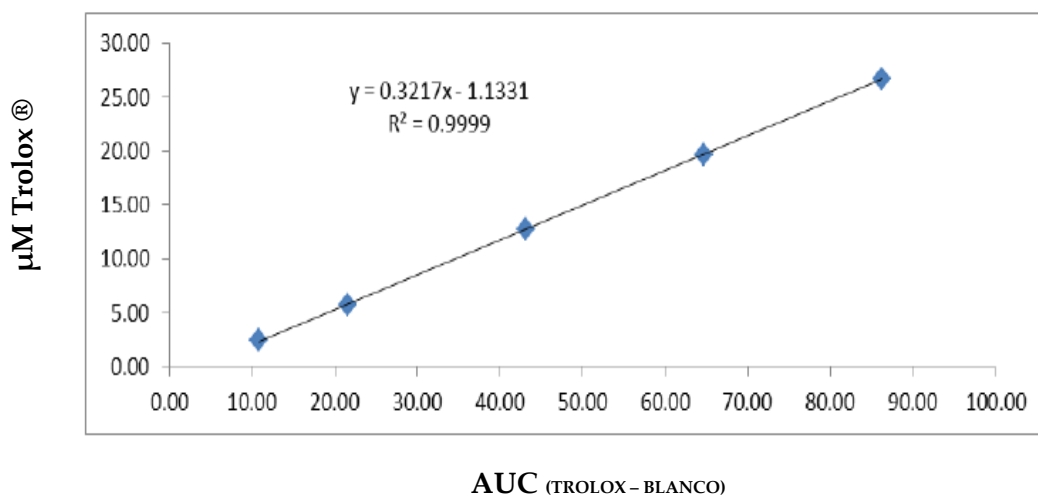


Figura 16. Curva de calibración

Fuente: laboratorio de cromatografía, Universidad Industrial de Santander (UIS)

Tabla 8. Valores ORAC sustancias.

Sustancia	Valor ORAC ($\mu\text{mol trolox}^{\text{®}}$ /mg de sustancia)
Catequina	68,7
α -Tocoferol	1
BHT	1,7
Infusión semilla	0,01

Fuente: laboratorio de cromatografía, Universidad Industrial de Santander (UIS)

La capacidad antioxidante de las sustancias reportadas, nos ayudan a comparar los valores ORAC, con la infusión de semilla que se envió para analizar.

Si analizamos la tabla número 8, nos damos cuenta que la catequina es una muy buena fuente de capacidad antioxidante, ya que su valor es 68,09 más elevado, que la presente en la infusión de semilla.

La infusión de la semilla por su parte arrojó valores para la capacidad antioxidante de 0,01 $\mu\text{mol trolox}^{\text{®}}$ /mg de sustancia, o equivalentes ET; que nos indican el grado de protección del antioxidante a la molécula, la medición utilizada se basó en fluorescencia de una molécula a la que se le sometió a la acción de un generador de radicales libres. A medida que la molécula fluorescente fue atacada y dañada por los radicales se fue perdiendo su fluorescencia. La labor del antioxidante presente en la infusión fue la de proteger la molécula, es importante denotar que; cuanto más capacidad antioxidante tiene un compuesto o alimento más se preserva la capacidad de emitir luz de la molécula en cuestión.

Trolox $^{\text{®}}$ es un antioxidante análogo a la vitamina E, con formula molecular $\text{C}_{14}\text{H}_{18}\text{O}_4$ y este es usado como medidor estándar. Según la “*USDA (United State Department of Agriculture)*” se recomienda una ingesta de entre 3.000 y 5.000 $\mu\text{mol ET}/100\text{gr}$ de sustancia, para combatir mediante la alimentación los posibles ataques de los radicales libres.

Posterior a una conversión tenemos que nuestra muestra presenta valores de, 10 $\mu\text{mol ET}/\text{gr}$ de semilla; de aquí que por cada 100 gr su valor final nos arroja 1000 $\mu\text{mol ET}/100\text{gr}$, aunque este valor esta 3 veces más bajos que el valor mínimo que

recomienda la USDA y se encuentra presente en la lista como uno de los frutos con más alto valor ORAC, cabe rescatar que el análisis que se llevó a cabo no fue en la pulpa del fruto, sino en uno de los residuos que este genera, por ende, la concentración arrojada representa valores más bajos que los reportados en la literatura.

Es importante denotar que los resultados reflejados, pueden variar dependiendo el tipo de variedad, tratamiento previo, y parte analizada del fruto. Como lo es el caso de la variedad (Persea americana Mill. var Hass); que fue analizada por Wilson Polonia, 2014; por medio de extracción de fluidos supercríticos, extracción soxhlet; y método de HPLC. para hallar la capacidad antioxidante. Dicha investigación arrojó valores de 46,41 (mmol HPLC/kg oleína) como valor más elevado.

Luego de despejar la ecuación de la gráfica, de la figura 16; reportamos que el valor de X para la muestra de infusión de aguacate posee un valor de: 3,5533 $\mu\text{mol}/\text{mg}$ de sustancia, lo cual ayudó a construir la gráfica presente en la figura 17, con valores mayores de la concentración utilizada.

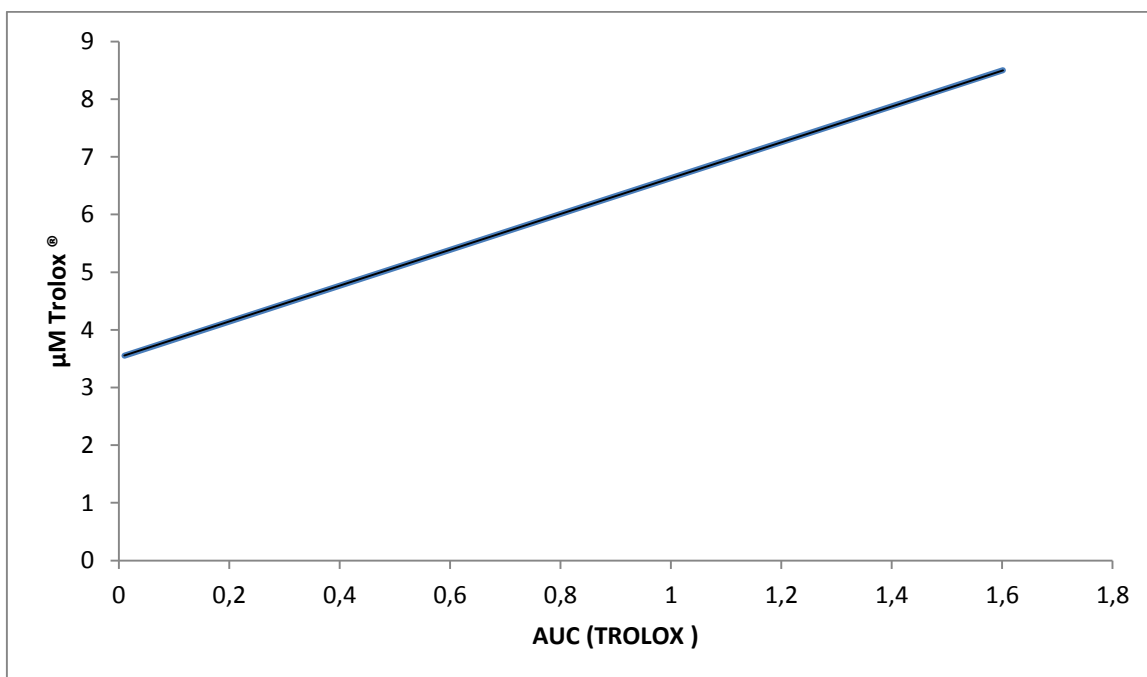


Figura 17.comportamiento ORAC, si aumentamos la concentración de la infusión.

Fuente: autor

Como era de esperarse la gráfica número 17, resulto con un comportamiento lineal, si las concentraciones de la infusión son aumentadas; de aquí que, con métodos como extracción *soxhlet* para extracción de aceite, la concentración de TROLOX presente, podría variar significativamente, al igual que por maceración a temperatura ambiente, ya que según investigaciones disponibles por; *Ángel Gutiérrez et., 2004*, la capacidad antioxidante de un alimento depende de la naturaleza y concentración de los antioxidantes naturales presentes en él. El contenido de los principales antioxidantes en los alimentos varía de un alimento a otro, dentro del mismo grupo como el de frutas y vegetales. De aquí que si se somete a calentamiento o frío excesivo, se presenta una pérdida de esta propiedad.

Si se hubiese presentado una menor concentración en dicha infusión de TROLOX, el valor ORAC para dicha infusión hubiese reflejado valores de cero. Finalmente tenemos que el comportamiento que reflejo la gráfica, es recomendable para valores mayores a 3 $\mu\text{mol}/\text{mg}$ ya que si se presentan concentraciones menores, los valores arrojados para μM trolox serían negativos.

6. CONCLUSIONES

La propiedad de carbón fijo reportada en el análisis proximal, fue la que se presentó en menor cantidad en la semilla, lo cual nos arroja que las propiedades de humedad, ceniza, y material volátil son más prominentes en esta variedad, de aquí que también se haya presentado cantidades considerables de agua en el proceso de secado.

El análisis elemental realizado nos brindó información, que describió que el oxígeno es el elemento con mayor porcentaje p/p presentado en la semilla, a diferencia del azufre que se presenta en rangos de 0,1 en la variedad de aguacate descrita.

La cantidad de agua presente en los gases, se presentó en mayor cantidad con la relación número 2, utilizando vapor de agua como flujo inerte, con un valor de 212850 kg/hr, lo cual se debió a la cantidad de flujo suministrada al reactor de Gibbs.

El análisis para producción de gas de síntesis arrojó que la mejor opción para llevar a cabo el proceso y obtener valores elevados de los componentes de interés, es con un flujo de vapor de agua de 4535,9 kg/hr y presión de 5 atm.

La temperatura a la salida del separador, indicó que entre más elevados sean los valores en los productos de esta, mayor son los flujos que estos arroja.

El componente que se presentó en mayor proporción a la salida del separador, después del proceso de pirolisis, fue el CO₂ con valores aproximados de 23000 kg/hr por cada 40000 kg/hr de vapor de agua.

A partir de la semilla de aguacate variedad Choquette, es posible obtener, cantidades considerables de elementos presentes en el gas de síntesis, lo cual proporciona viabilidad para profundizar en el estudio de dicha variedad y promover el aprovechamiento de esta.

El análisis de capacidad antioxidante, arrojó que por el método de infusión, la semilla de aguacate variedad Choquette, suministra una tercera parte de la cantidad de ORAC, recomendada diariamente.

La cantidad de TE/gr de capacidad antioxidante de la infusión de semilla de aguacate, presenta valores bajos, respecto a otras sustancias; como la Catequina, α -Tocoferol y BHT.

Para análisis de capacidad antioxidante utilizando TROLOX como referencia, son recomendables alimentos con alto contenido de vitamina E.

7. RECOMENDACIONES

Debido a que el valor ORAC para la infusión de semilla variedad Choquette, fue bajo, Para futuros estudios se recomienda, que la preparación de las muestras, para posterior análisis de capacidad antioxidante, sea llevada a cabo con otro tratamiento previo diferente a una infusión; y a temperatura ambiente.

Encontrar otra forma para aprovechamiento de la semilla, que aporten valores más altos de capacidad antioxidante a la comunidad, ya que por el método de infusión se aportan cantidades muy mínimas al cuerpo.

Hacer investigaciones que indiquen donde se concentra, la mayor cantidad de antioxidante en la semilla, ya que el tegumento que envuelve esta, al ser retirado produce una pigmentación naranja, lo cual podría relacionarse a una oxidación. De aquí se sugiere, que esta es la que posee mayor concentración de capacidad antioxidante.

Hacer un estudio de factibilidad y viabilidad económica que indiquen, los costos de producción e ingresos que se tendrían, en el diseño de una planta en el país con los flujos y variedad utilizada de aguacate.

Finalmente, se recomienda utilizar otros tipos de variedades de aguacates disponibles en Colombia, para hacer una posterior comparación en cuanto a aporte nutricional y fuente de combustible.

8. BIBLIOGRAFIA

Alvaro Posso., 2014. Tomado de: [https://es.scribd.com/document/263316556/Analisis-Proximo pag 1](https://es.scribd.com/document/263316556/Analisis-Proximo-pag-1).

Ames. B.N, Shigenag, M.K & Hagen T.M, 1993. "oxidants, antioxidant and the degenerative diseases of aging. *Processing of the National Academic Science*, 90: 7915-22

Anil K. Rajvanshi, 1986. BIOMASS GASIFICATION. Pag 1.

Arteaga Luis E., et al 2012. *Determinación de la calidad energética y la composición del gas de síntesis producido con biocombustibles. Parte II: Combustibles Sólidos, Bagazo de caña de azúcar.* pág. 2.

Belén, M. P. *El aguacate y sus diferentes aplicaciones en 25 recetas.* Universidad de Cuenca, Ecuador, 2010, pp. 19-26.

Bernal, J. et al., 2014. *Prácticas Agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate.* Medellín, Colombia: Corpoica. Pag 7

Biomass Gasification: <http://biomasspower.gov.in/document/download-leftside/Biomass%20gasification.pdf> pag 2.

Colquhoun, D. M.; Moores, D.; Somerset, S.; Humphries, J. A. *Comparison of the effects on lipoproteins and apolipoproteins of a diet high in monounsaturated fatty acids, enriched with avocado, and a high-carbohydrate diet.* *Am. J. Clin. Nutr.* 1992, 56, 671-677.

Cossio, L.; Salazar.S; Medina, Raul.; *DESARROLLO FLORAL DE LOS AGUACATES 'CHOQUETTE' Y 'BOOTH-8' EN CLIMA CÁLIDO. PARTE I.* pag 2.

DANE, *Boletín mensual INSUMOS Y FACTORES ASOCIADOS A LA PRODUCCIÓN AGROPECUARIA*, 2015.

Davila, J.A., Rosenberg, M., Cardona, C.A., 2017. *A biorefinery for efficient processing and utilization of spent pulp of Colombian Andes Berry (Rubus glaucus Benth.): Experimental, technoeconomic and environmental assessment.* *Bioresour. Technol.* 223, 227–236. doi:10.1016/j.biortech.2016.10.050

FAOSTAT, 2017. *Avocado production by year in Colombia*. Available in: goo.gl/ihw4qG (Accessed February 2017).

Hall, A. P.; Moore, J. G.; Morgan, A. F. B vitamin content of California-grown avocados. *J. Agric. Food Chem.* 1955, 3, 250-252.

Halliwell, B. R. & Gutteridge, J.M.C. 1999. *Free Radicals in Biology and Medicine*. 3rd ed, Oxford Univ. press. Oxford U.K

Halliwell, B., Murcia, M., Chirico, S. and Aruoma, O. (1995). *Free radicals and antioxidants in food and in vivo: what they do and how they work*. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 35, 7-20.

Huang. D., Boxin, O.U. & Prior P.L., 2005. *The chemistry behind antioxidant capacity assays*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55: 1841-1856.

Lara Ferroni; libro : *an avocado a day* , pag 6.

Página digital finagro:

https://www.finagro.com.co/sites/default/files/node/.../3_aguacate_produccion.docx. 2012

Park, Ruth, Saleh, David, Vitry, Charles, & Wang, Lesley. (2015). *Exploration of avocado oil extraction methods and potential in rural Tanzania*.

Pearson, D. *Seasonal english market variations in the composition of South African and Israeli avocados*. *J. Sci. Food Agric.* 1975, 26, 207-213.

Pérez. S.A., Ávila. G., Coto. O., 2015. *Revisión bibliográfica El aguacatero (Persea americana Mill) , pp. 1-2*

Pokorny, J., Yanishlieva, N. and Gordon, M. (2001). *Antioxidants in Food. Practical Applications*. England: Woodhead Publishing Ltda.

Restrepo, J., Sánchez, R., Gallego, J., Beltrán, T., Soto, C., Nieto, F. (2012). *Manejo fitosanitario del cultivo del aguacate Hass*. Instituto Colombiano Agropecuario. Bogotá, Colombia.

Revista digital caracol radio:

http://caracol.com.co/radio/2017/08/14/economia/1502715122_400243.html. 2017

Sandra Zapata et al 2014. *Capacidad atrapadora de radicales oxígeno (ORAC) y fenoles totales de frutas y hortalizas de Colombia*. Pág. 2.

Santillán, M. E.; Meza, M. G.; Navarro, R. I.; Gómez, H. P. y Rodríguez, E. S. *Fabricación de productos cosméticos y de consumo humano a base de bagazo de aguacate (Persea americana)*. *Avances en la investigación científica en el CUCBA. XIX Jornada Nacional de la Investigación Científica, 2008*. ISBN: 978-607-00-2083-4.

Shahidi and Zhong, (2005). *Lipid Oxidation: Measurement Methods*.

Shaobin Wang and G. Q. (Max) Lu. 1996. *Carbon Dioxide Reforming of Methane To Produce Synthesis Gas over Metal-Supported Catalysts: State of the Art*. Pág. 2.

Sies, H. 1997. *Oxidative stress, oxidants and antioxidants*. *Experimental physiology* 82: 291-295

Simulación de procesos Químicos en Aspen Plus (2011). En *Simulación de procesos en Ingeniería Química*. Recuperado de:
<http://modeladoysimulacioneniqu.webnode.es/simulacion-en-ee/simulacion-de-procesos-quimicos-usando-aspen-plus/>.

Smith, J.; Goldweber, S.; Lamberts, M.; Tyson, R.; Reynolds, J. S. *Utilization potential for semi-tropical and tropical fruits and vegetables in therapeutic and family diets*. *Proc. Fla. State Hortic. Soc.* 1983, 96, 241-244.

Sonia Rincon., Alexander Gomez., and Wolfgang Klose (2011). *Gasificación de biomasa residual de procesamiento agroindustrial*. P. 2-4

Steffen Heidenreich and Pier Ugo Foscolo. 2014. *New concepts in biomass gasification* pag. 1

Subsecretaria de Fomento de Agronegocios, 2011, pp. 1-10. 7.

Swisher, H. E. *Avocado oil from food use to skin care*. *J. Am. Oil Chem. Soc.* 1988, 65, 1704-1706.

Teliz-Ortíz, D.; Mora-Aguilera, G. y Morales-García, L. *Importancia histórica y socioeconómica del aguacate*. En: *El aguacate y su manejo integrado*. Téliz-Ortíz, D. (coord.). Mundi Prensa. México, 2000.

Tomado de:

www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_oct_2015.pdf. Pag. 6

Tomeczek J., Zgazowanie węgla, Wyd. Politechnika Śląska, Gliwice, 1991, GASIFICATION OF SOLID FUELS pag 4 .

Universidad de alicante, servicios técnicos de investigación. 2017; <https://sstti.ua.es/es/instrumentacion-cientifica/unidad-de-rayos-x/analisis-elemental.html> pág. 1.

van der Drift and H. Boerrigter, 2006, SYNTHESIS GAS FROM BIOMASS for fuels and chemicals. Pag 2.

Viikari, J.; Niinikoski, H.; Raitakari, O. y Simell, O. The initiatives and outcomes for cardiovascular risks that can be achieved through pediatric counselling. *Curr Opin in Lipidol*, 2009, vol. 20, no. 1, pp. 17-23. ISSN: 1473-6535.

Wanasundara, P. and Shahidi, F. (2005). Antioxidants: Science, Technology, and Applications. In D. F. Shahidi (Ed.) *Bayley's Industrial Oil and Fat Products* (pp. 431-489) Canadá: Jhon Wiley & Sons, Inc.

Whiley, A.W., Schaffer, B., 1994. *Avocado*. In: Schaffer, B., Andersen, P.C. (Eds.), *Environmental Physiology of Fruit Crops. Subtropical and Tropical Crops*, vol. 2. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 3-35.

Wills, R. B. H.; Lim, J. S. K.; Greenfield, H. Composition of australian foods. 31. Tropical and sub-tropical fruit. *Food Technol. Aust.* 1986, 38, 118-120, 122-123.

Wilson polonia., 2014; *Actividad antioxidante de los residuos del aguacate Hass (Persea americana Mill. var Hass) sometidos a extracciones clásicas y a fluidos presurizados*. pág. 18.