



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE
HIDALGO**



**FACULTAD QUIMICO FARMACOBIOLOGÍA
Programa Institucional de Maestría en
Ciencias Biológicas**

**Elaboración de yoghurt de bajo índice glucémico con jarabe de agave
como edulcorante e inulina de agave**

TESIS

Que como requisito para obtener el grado de

MAESTRÍA EN CIENCIAS BIOLÓGICAS

PRESENTA

I.B.Q. Susana Mendoza Méndez

DIRECTOR DE TESIS: DC CARLOS RUBÉN SOSA AGUIRRE

Morelia, Michoacán, Agosto de 2010

CONTENIDO

I.	RESUMEN	1
II.	ABSTRACT	3
III.	INTRODUCCIÓN	5
IV.	ANTECEDENTES	6
IV.1	Yoghurt	6
IV.2	Índice Glucémico y Diabetes Mellitus tipo 2	7
IV.3	Jarabe de Agave	9
IV.3.1	Metabolismo de la fructosa	10
IV.4	Inulina de agave	11
V.	JUSTIFICACIÓN	17
VI.	HIPÓTESIS	18
VII.	OBJETIVOS	19
VII.1	Objetivo General	19
VII.2	Objetivos Particulares	19
VIII.	MATERIALES Y MÉTODOS	20
VIII.1	Materiales	20
VIII.2	Elaboración de yoghurt	20
VIII.3	Análisis de la composición de jarabe e inulina de agave por HPLC.....	21
VIII.4	Examen de tolerancia a la glucosa	22
VIII.5	Metodología	22
VIII.5.1	Examen de tolerancia a la glucosa	22
VIII.5.2	Determinación de IG	23
IX.	RESULTADOS.....	28
IX.1	Características de los voluntarios.....	28

IX.2	Análisis de jarabe de agave para determinar la porción a ingerir	30
IX.3	Concentraciones de glucosa plasmática de los voluntarios en respuesta a la ingesta de 50 g de carbohidratos disponibles en forma de jarabe de agave	33
IX.4	Obtención del índice glucémico de jarabes de agave	36
IX.5	Análisis de yoghurt para la determinación de la porción a ingerir	41
IX.6	Concentraciones de glucosa plasmática de los voluntarios en respuesta a la ingesta de 50 g de carbohidratos disponibles en forma de yoghurt	45
IX.7	Determinación del índice glucémico de yoghurts.....	49
IX.8	Tablas de Índice Glucémico de jarabes de agave y yoghurts	53
X.	DISCUSIÓN	54
XI.	CONCLUSIÓN	58
XII.	PERSPECTIVAS	59
XIII.	ANEXO 1	60
XIV.	ANEXO 2	61
XV.	REFERENCIAS	62

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Índice Glucémico de diversos edulcorantes (Foster-Powell <i>et al.</i> , 2002).....	9
Tabla 2.- Formulación de yoghurts edulcorados a base de jarabe de agave, jarabe de agave suplementado de inulina y sacarosa de caña	21
Tabla 3.- Características de los voluntarios para la determinación de IG	28
Tabla 4.- Examen de tolerancia a la glucosa (75g de glucosa)	29
Tabla 5.- Determinación de dosis para 50 g de carbohidratos disponibles en jarabe de agave estándar	30
Tabla 6.- Determinación de dosis para 50g de carbohidratos disponibles en jarabe de agave con inulina.....	31
Tabla 7.- Determinación de dosis para 50 g de carbohidratos disponibles en jarabe de agave depurado.....	32
Tabla 8.- Concentraciones de glucosa plasmática (mg/dL) para la primera ingesta del alimento de referencia	33
Tabla 9.- Concentraciones de glucosa en plasma (mg/dL) para la segunda ingesta del alimento de referencia	34
Tabla 10.- Concentraciones de glucosa en plasma (mg/dL) para la tercera ingesta del alimento de referencia	34
Tabla 11.- Concentraciones de glucosa en plasma (mg/dL) para la ingesta de jarabe de agave estándar (JAS).....	35
Tabla 12.- Concentraciones de glucosa en plasma (mg/dL) para la ingesta de jarabe de agave con inulina (JAI).....	35
Tabla 13.- Concentraciones de glucosa en plasma (mg/dL) para la ingesta de jarabe de agave depurado (JAD)	36
Tabla 14.- Índice Glucémico del Jarabe de Agave Estándar (JAS)	37
Tabla 15.- Índice Glucémico del Jarabe de Agave con Inulina (JAI)	37
Tabla 16.- Índice Glucémico del Jarabe de Agave Depurado (JAD)	38
Tabla 17.- Composición de la inulina de agave en polvo, determinada por HPLC.....	41
Tabla 18.- Determinación de dosis para 50g de carbohidratos disponibles	42
Tabla 19.- Determinación de dosis para 50 g de carbohidratos disponibles	42

Tabla 20.- Determinación de dosis para 50 g de carbohidratos disponibles en yoghurt con inulina y jarabe de sacarosa (YIS)	43
Tabla 21.- Determinación de dosis para 50 g de carbohidratos disponibles en yoghurt con inulina y jarabe de agave estándar (YIA)	44
Tabla 22.- Concentraciones de glucosa plasmática (mg/dL) para la primera ingesta del alimento de referencia (Segunda evaluación)	45
Tabla 23.- Concentraciones de glucosa plasmática (mg/dL) para la segunda ingesta del alimento de referencia (Segunda evaluación)	46
Tabla 24.- Concentraciones de glucosa plasmática (mg/dL) para la tercera ingesta del alimento de referencia (Segunda evaluación)	46
Tabla 25.- Concentraciones de glucosa plasmática (mg/dL) para la ingesta de yoghurt con sacarosa (YS)	47
Tabla 26.- Concentraciones de glucosa plasmática (mg/dL) para la ingesta de yoghurt con jarabe de agave (YA)	47
Tabla 27.- Concentraciones de glucosa plasmática (mg/dL) para la ingesta de yoghurt con inulina y sacarosa (YIS)	48
Tabla 28.- Concentraciones de glucosa plasmática (mg/dL) para la ingesta de yoghurt con inulina y jarabe de agave (YIA)	48
Tabla 29.- Índice glucémico de yoghurt con sacarosa (YS)	49
Tabla 30.- Índice glucémico del yoghurt con jarabe de agave (YA)	50
Tabla 31.- Índice glucémico de yoghurt con inulina y sacarosa (YIS)	50
Tabla 32.- Índice glucémico de yoghurt con inulina y jarabe de agave (YIA)	51
Tabla 33.-Índice y carga glucémica de jarabes de agave	53
Tabla 34.-Índice y carga glucémica de yoghurts	53

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Área bajo la curva del incremento en la glucosa postprandial de alimentos de alto y bajo IG (glycemicindex.com)	8
Figura 2.- Jarabe de Agave (BIOFERMICH)	9
Figura 3.- Estructura de la inulina de un agave tequilana de 8 años (López et al., 2003).....	11
Figura 4.- Inulina de agave observada al microscopio electrónico a 100 µm y X200.	12
Figura 5.- Índice glucémico del jarabe de agave estándar, con inulina y depurado.	38
Figura 6.- Cambio en la glucosa plasmática de los voluntarios respecto a la glucosa en ayunas provocada por la ingesta de 50 g de carbohidratos disponibles de glucosa, jarabe de agave estándar y con inulina.	39
Figura 7.- Cambio en la glucosa plasmática de los voluntarios respecto a la glucosa en ayunas provocada por la ingesta de 50 g de carbohidratos disponibles de glucosa y jarabe de agave depurado.....	40
Figura 8.- IG de yogurt edulcorado con sacarosa (YS), con jarabe de agave (YA), con inulina y sacarosa (YIS), con inulina jarabe de agave (YIA).....	51
Figura 9.- Cambio en la glucosa plasmática de los individuos respecto a la glucosa en ayunas provocado por la ingesta de 50 g de carbohidratos disponibles de YS, YA, YIS y YIA.	52
Figura 10.- .- Metabolismo hepático de la glucosa y fructosa (Tran <i>et al.</i> , 2009).....	60
Figura 11.- Aceptación de trabajo en XVI Seminario Latinoamericano de Ciencia y Tecnología de Alimentos	61

I. RESUMEN

Debido a la alta incidencia de Diabetes mellitus tipo 2 que actualmente se presenta en México es necesario buscar estrategias que permitan combatir esta enfermedad. Se sabe que el principal objetivo en el control de la diabetes es normalizar las concentraciones de glucosa sanguínea y una herramienta importante para lograr lo anterior es el manejo del índice glucémico (IG) de las dietas, así como la ingesta diaria de fibra soluble del tipo de la inulina. En este trabajo se evaluó el índice glucémico de 3 tipos del edulcorante denominado jarabe de agave (JA): estándar (JAS), con inulina (JAI) y depurado (JAD) así como de 4 yoghurts; dos de los cuales fueron edulcorados con jarabe de agave y los dos restantes con sacarosa, un yoghurt de cada edulcorante fue adicionado de 1.5% de inulina de agave. La metodología utilizada para la determinación del IG fue la recomendada por la FAO en la junta de Roma de 1998. Participaron 15 voluntarios con un índice de masa corporal de $22.13 \pm 1.162 \text{ Kg/m}^2$ y 24.43 ± 2.44 años, quienes consumieron 50 g de carbohidratos disponibles del alimento de referencia y de los alimentos prueba; posterior a 10 horas de ayuno nocturno, a cada uno de los participantes se les tomaron muestras de sangre capilar a los -5, 0, 15, 30, 45, 60, 90 y 120 min del inicio de la ingesta de los alimentos, en dichas muestras se cuantificó la glucosa plasmática. Se determinó el IG de cada uno de los 7 alimentos prueba. Los IG obtenidos para el jarabe de agave estándar, con inulina y depurado fueron 27, 23 y 16 respectivamente, el IG del JAD resultó considerablemente más bajo que el del JAS ($P < 0.05$). Para los yoghurts con: sacarosa (YS), jarabe de agave (YA), sacarosa e inulina (YIS), jarabe de agave e inulina (YIA) los IG fueron de 24, 13, 31 y 17, respectivamente. El IG del YA fue significativamente menor que el del YS, se observó el mismo efecto para los yoghurts con inulina, ($P < 0.05$). Se encontró que los JA pueden clasificarse como edulcorantes de bajo IG y que la concentración de fructosa influye en su valor de IG. La sustitución de sacarosa por jarabe de agave estándar en el yoghurt disminuyó significativamente el IG de este alimento.

La adición de inulina de agave incrementó ligeramente el IG del yoghurt, de tal manera que no se encontró diferencia estadística entre el YIA y el YA ni entre el YS y el YIS.

Los jarabes de agave son edulcorantes de bajo índice glucémico, el JAD es el de menor IG debido a su alta concentración de fructosa, la presencia de inulina no influye en el IG de estos edulcorantes debido a su característica de fibra dietética. La adición de inulina al yoghurt tiende a incrementar el IG de este alimento, pero no de manera significativa. El uso de jarabe de agave en el yoghurt reduce su IG respecto al IG del yoghurt edulcorado con sacarosa.

Palabras clave: Diabetes mellitus, índice glucémico, jarabe de agave, inulina de agave, yoghurt

II. ABSTRACT

Because of the high incidence of type 2 Diabetes mellitus (T2DM) that nowadays comes up in México, it is necessary to look for strategies to fight against this illness. It is known that the main target in the control of T2DM is normalizing blood glucose concentrations and one important alternative to achieve it is the handling of the glycemic index (GI) of the diet, as well as the daily ingestion of soluble fiber such as inulin. In this project the GI of 3 types of the sweetener named agave syrup (AS) was evaluated: standard (SAS), with inulin (ASI) and refined (RAS) as well as the GI of 4 yoghurts; two of them were sweetened with SAS and the rest with sucrose, one yoghurt of each sweetener was added with 1.5% of agave inulin. The methodology used was recommended by FAO in the joint of Rome in 1998. 15 volunteers participated in this project, their body mass index and age were 22.13 ± 1.162 Kg/m² and 24.43 ± 2.44 years, respectively. Volunteers consumed 50 g of available carbohydrates of the reference food and the test food. Capillary blood samples were obtained from overnight fasted subjects at -5, 0, 15, 30, 45, 60, 90 and 120 min from the start of each food, plasmatic glucose was quantified in these samples. The GI values were determined for each of the 7 test food. The GI values obtained for SAS, ASI and RAS were 27, 23 y 16, respectively. The GI of RAS resulted lower than the GI of SAS ($P < 0.05$). For yoghurts with sucrose (YS), agave syrup (YA), sucrose and inulin (YIS), agave syrup and inulin (YIA) the GI were 24, 13, 31 and 17, respectively. The GI of YA was considerably lower than the GI of YS, the same effect was observed in yoghurts with inulin, ($P < 0.05$). It was found that agave syrups can be classified as low GI sweetener and that fructose concentration influences their GI value. The substitution of sucrose by standard agave syrup in yoghurt lowered considerably the GI of this food. The addition of agave inulin increased lightly the GI of yoghurt, in such a way that there isn't statistic difference neither between YIA and YA nor YS and YIS.

Agave syrups are low glycemic index sweeteners, JAD has the lowest GI because of its high fructose concentration, the presence of inulin does not influence the GI of these sweeteners because of its dietetic fiber characteristic. The addition of inulin into yoghurt increases its GI, but not in a considerably way. The use of agave syrup in yoghurt reduces its GI in relation to the GI of the sucrose sweetened yoghurt.

Key words: Diabetes mellitus, glycemic index, agave syrup, agave inulin, yoghurt.

III. INTRODUCCIÓN

En México, la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2006, dada a conocer por el Instituto Nacional de Salud Pública, coloca a la diabetes tipo 2 como la primera causa de muerte. Los síntomas y complicaciones que esta enfermedad produce se deben, entre otras causas, a la hiperglucemia, por lo cual normalizar los niveles de glucosa en sangre en estos pacientes es de vital importancia.

Una herramienta para controlar los niveles de glucosa en sangre, es a través de la alimentación al hacer manejo del índice glucémico (IG) en las dietas de los individuos, el cual es una manera de clasificar a los alimentos basada en sus efectos en los niveles séricos de glucosa. El desarrollo de alimentos de bajo índice glucémico, es un reto, ya que se caracterizan por tener una baja y gradual respuesta glucémica postprandial.

Entre los alimentos procesados más aceptados en México se encuentra el yoghurt, el cual debido a sus características puede ser empleado para mejorar y/o mantener la salud de los consumidores. Sin embargo aunque se han realizado innovaciones en sabor, textura y presentación de este alimento, tradicionalmente ha sido endulzado con sacarosa de caña, edulcorante cuyo IG es de 68 ± 5 , por lo que se clasifica como edulcorante de IG medio-alto (Foster-Powell *et al.*, 2002).

Recientemente en México a partir del *Agave tequilana weber* var. Azul, se ha obtenido un edulcorante alto en fructosa denominado jarabe de agave (JA), así como fructanos del tipo de la inulina, estos últimos han sido utilizados ampliamente en la industria alimenticia como ingrediente de alimentos funcionales (Madrigal y Sangronis, 2007).

Por lo que en el presente trabajo se propone el uso de jarabe de agave de alta fructosa como edulcorante, así como la adición de inulina de agave en la formulación de yoghurts, con la finalidad de reducir el IG de este alimento.

IV. ANTECEDENTES

IV.1 Yoghurt

El yoghurt es una leche fermentada, que se produce en prácticamente todo el mundo. El proceso de su elaboración, es uno de los métodos más antiguos usados para extender la vida de anaquel de la leche y ha sido practicado por los seres humanos durante miles de años.

El proceso de elaboración de yoghurt está dado por la fermentación mixta de la leche, utilizando microorganismos de los géneros *Lactobacillus* y *Streptococcus*, quienes utilizan la lactosa y proteínas de la leche para la producción tanto de biomasa como de ácido láctico, entre otros productos.

Uno de los principales beneficios de las bacterias que se encuentran en el yoghurt, es estimular la flora intestinal, así como incrementar la digestión de la lactosa. Se ha demostrado que la ingesta de 200 g de de yoghurt por 2 semanas contribuyen a la ingesta total de vitamina B₁ y B₂ reflejada por el incremento en los niveles de tiamina y riboflavina libre en plasma en mujeres sanas (Fabian *et al.*, 2008).

Sin embargo los péptidos bioactivos (casomorfina, α y β -lactofina, inmunopéptidos, lactoferrina o fosfopéptidos) a los cuales se les atribuye ser componentes potenciadores de la salud, no deberían ser pasados por alto. (Tamine, 2002) ya que las actividades biológicas asociadas con tales péptidos incluyen propiedades inmunomoduladoras, antibacteriales y anti-hipertensivas. (Hayes *et al.*, 2007).

En la actualidad existen un gran número de yoghurts cuya formulación incluye compuestos denominados prebióticos¹ (inulinas y fructooligosacáridos), los cuales estimulan la flora intestinal benéfica, y/o probióticos² como las bifidobacterias. Sin embargo, no se han realizado trabajos que describan el impacto que los edulcorantes tradicionales en el yoghurt (sacarosa de caña) tienen en la salud de los consumidores.

IV.2 Índice Glucémico y Diabetes Mellitus tipo 2

La diabetes mellitus en México tiene una prevalencia en su tipo 2 en adultos mayores de 20 años que ha aumentado de 6.7% en 1993 a 7.5% en el 2000 y se estima que podría llegar a 12.3% en el 2025 (Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado). Esta ha sido vista como un desorden en el metabolismo de los carbohidratos, donde una de las características principales es la hiperglucemia, la cual es la causa de los agudos síntomas tales como polidipsia, poliuria y polifagia, además de las complicaciones a largo plazo como retinopatía, nefropatía y neuropatía (Stratton *et al.*, 2000). Por lo cual una meta importante en el manejo de la diabetes y la regulación de los niveles de glucosa en sangre, es el control en la dieta tanto de la cantidad como del tipo de carbohidratos dada su influencia en la respuesta postprandial de los niveles de glucosa (Sheard *et al.*, 2004).

Durante las últimas dos décadas este tema ha sido causa de debate y estudio. En 1981, Jenkins *et al.* Introdujo el concepto de índice glucémico como un sistema de clasificación de alimentos basado en su inmediato impacto en los niveles de glucosa en sangre (Venn y Green, 2007).

El IG se define como el incremento del área bajo la curva de glucosa en sangre después de ingerir un alimento de prueba, expresado como el porcentaje de la correspondiente área de una cantidad equivalente de carbohidratos de un producto de referencia (Jenkins *et al.*, 1981; Grandfelt *et al.*, 2006).

Se consideran valores bajos de IG aquellos iguales o menores a 55 U, valores intermedios a aquellos entre 56-69 U y altos a los mayores a 70U (Brand-Miller s.f.). Alimentos con bajo IG son considerados benéficos como resultado de su relativamente baja y gradual respuesta glucémica postprandial, comparada con alimentos de alto IG (Grandfelt *et al.*, 2006), como se muestra en la figura 1.

¹ Prebióticos: Son oligosacáridos no digeribles que pueden estimular selectivamente el crecimiento de las bacterias probióticas normalmente presentes en el intestino (Macfarlane y Cummings, 1999).

² Probióticos: Microorganismos vivos usados en alimentos, tales como yoghurt; que sobreviven el paso a través del intestino y temporalmente traen los beneficios de la flora intestinal normal. (Macfarlane y Cummings, 1999).

En 2002 Willet *et al.* plantea que debido a que una dieta con alto GI puede promover el aumento de peso, es posible que esta sea una de las maneras en la que dietas con alto IG incrementan el riesgo de diabetes, además de que pueden contribuir a disfunción pancreática de las células β y conducir a resistencia a la insulina.

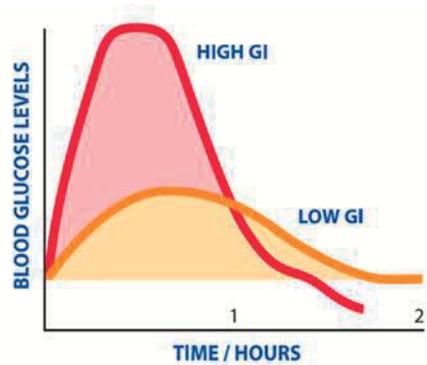


Figura 1.- Área bajo la curva del incremento en la glucosa postprandial de alimentos de alto y bajo IG (glycemicindex.com)

Sin embargo, se observó que el IG por sí mismo no daba respuesta a la problemática de la hiperglucemia, ya que no considera la cantidad del alimento consumido, de tal manera que para tener en cuenta el total de carbohidratos consumidos en la dieta, se creó el concepto de carga glucémica CL, que es el producto del IG y la cantidad de carbohidratos consumidos de ese alimento (Hodge *et al.*, 2004).

IV.3 Jarabe de Agave

El jarabe es el resultado de la extracción de la inulina de *Agave tequilana Weber* variedad azul, su hidrólisis hasta monosacáridos y su posterior concentración, hasta aproximadamente 70% de sólidos disueltos, de color ámbar.



Figura 2.- Jarabe de Agave (BIOFERMICH)

Se ha determinado que el jarabe de agave tiene un bajo IG, debido a su alto contenido de fructosa (Tabla 1). Por lo anterior el jarabe de agave se considera una alternativa como edulcorante para personas con problemas de diabetes que gusten de alimentos dulces (Foster-Powell *et al.*, 2002 y Uusitupa, 1994).

Tabla 1.- Índice Glucémico de diversos edulcorantes (Foster-Powell *et al.*, 2002).

Tabla de Índices glucémicos de diversos edulcorantes	
Edulcorante	U de Índice Glucémico
Jarabe de Agave, 97% fructosa	10±1
Jarabe de Agave, 90% fructosa	11±1
Miel de abeja	55±5
Fructosa	19±2
Sacarosa	68±5

IV.3.1 Metabolismo de la fructosa

El metabolismo de la fructosa es diferente al de la glucosa y ocurre a través de un mecanismo no dependiente de la insulina. Después de la ingestión, la fructosa es rápidamente absorbida en el intestino a través de un transportador específico para la fructosa GLUT 5 (Rutledge y Adeli, 2007). En el hígado, la fructosa es fosforilada por una enzima específica, la cual se encuentra altamente expresada, conocida como fructoquinasa, la cual forma fructosa-1-fosfato. Esta es después convertida a intermediarios fosfatados de tres carbonos: gliceraldehído, dihidroxiacetona-fosfato y gliceraldehído-3-fosfato. Una porción de estos intermediarios pueden ser convertidos a glucosa o metabolizados para formar lactato o triglicéridos.

El paso limitante en el metabolismo de fructosa envuelve la fosforilación de la fructosa-6-fosfato para formar fructosa-1,6-bifosfato, la cual es catalizada por la fosfofructoquinasa. Esta reacción es regulada negativamente por citrato y adenosín trifosfato (ATP), el cual inhibe alostéricamente a la fosfo-fructoquinasa, de modo que previene la posterior absorción de glucosa en el hígado (Havel, 2005). El metabolismo hepático de la glucosa y fructosa converge donde los intermediarios fosfatados de tres carbonos son formados. Ya que la fructosa puede eludir la reacción limitante de la fosfo-fructoquinasa, los intermediarios derivados de la fructosa pueden entrar en la ruta glucolítica corriente abajo de esta enzima.

Como estos intermediarios se acumulan, pueden ser convertidos a la molécula de glicerol o glicerol 3-fosfato. Mientras que el metabolismo hacia piruvato seguido por la conversión a acetil coenzima A (acetil-CoA) a través de la piruvato deshidrogenasa, permite la lipogénesis y formación de ácidos grasos, los cuales pueden ser esterificados para formar triglicéridos (Mayes, 1993).

IV.4 Inulina de agave

La inulina es un carbohidrato que está presente en muchos vegetales, frutas y cereales. En la actualidad, a nivel industrial se extrae de la raíz de la achicoria (*Cichorium intybus*) y se utiliza ampliamente como ingrediente en alimentos funcionales (Madrigal y Sangronis, 2007). Sin embargo, en los últimos años, en México, el Agave *tequilana* Weber var. azul se ha utilizado como una fuente de este carbohidrato a nivel piloto.

La inulina y sus derivados (oligofructosa, fructo-oligosacáridos) pertenecen a la familia de los fructanos (Madrigal y Sangronis, 2007). Estos carbohidratos son polímeros de fructosa enlazados frecuentemente con una molécula de glucosa.

Los fructanos del *A. tequilana* consisten de una compleja mezcla de fructo-oligosacáridos conteniendo principalmente enlaces $\beta(2\rightarrow1)$ así como también $\beta(2\rightarrow6)$. En 2003 López y colaboradores, describen que se han determinado moléculas ramificadas en la estructura de estos polímeros, lo cual se observa en la figura 3. Así mismo a través de microscopía electrónica, se puede observar como este polímero de agave, al encontrarse en polvo, forma partículas semiesféricas, como se aprecia en la Figura 4.

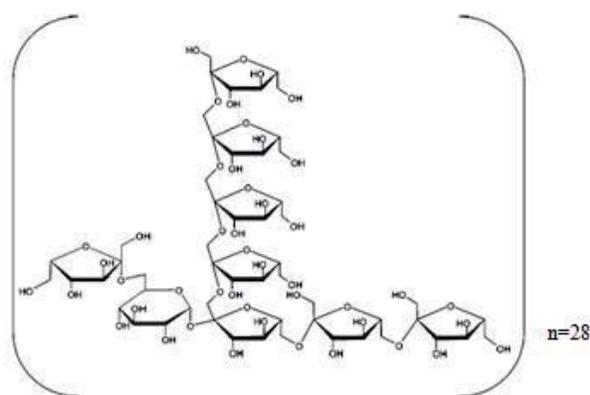


Figura 3.- Estructura de la inulina de un agave tequilana de 8 años (López et al., 2003).

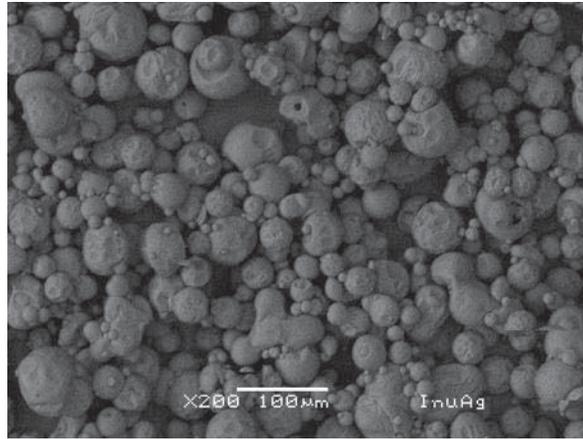


Figura 4.- Inulina de agave observada al microscopio electrónico a 100 μm y X200.

Debido a la configuración β del C_2 anomérico en sus monómeros de fructosa, los fructanos del tipo de la inulina, resisten la hidrólisis de las enzimas digestivas del intestino delgado de los humanos, las cuales reconocen de manera específica los enlaces α -glucosídicos. Sin embargo estas moléculas son cuantitativamente fermentadas en el colon. Por lo anterior han sido clasificados como oligosacáridos no digeribles e indudablemente son parte del complejo de la fibra dietética (Roberfroid, 2007).

Alguna de las ventajas de estos compuestos es que pueden incrementar la producción de ácido propiónico en el colon, el cual ha sido relacionado con la modulación de la glucosa hepática (Grandfelt *et al.*, 2006). Los fructanos intervienen en la absorción de minerales y vitaminas, producción y absorción de productos de fermentación como lactato, funciones endócrinas (vía péptidos gastrointestinales), regulación del crecimiento de las células epiteliales y su proliferación, función inmune, protección del cuerpo contra la translocación bacteriana y contra la proliferación *in si tu* de patógenos (Rowland, 1988, Cummings y Macfarlane, 1997).

Las fibras dietéticas son ingredientes alimenticios susceptibles de disminuir las concentraciones de glucosa en plasma en ayunas y postprandial y son propuestas como nutrientes clave en el control de la glucemia en pacientes diabéticos

(Roberfroid y Delzenne, 1998; Jenkins *et al.*, 1999). Fibras dietéticas solubles tales como goma guar, pectina o mucílagos, reducen la glucemia postprandial al retrasar el vaciamiento gástrico a través de su efecto formador de gel (Nuttall, 1993). Pero hay otras fibras dietéticas que no exhiben propiedades formadoras de gel las cuales parecen ser prometedoras en el control de desórdenes metabólicos asociados con la intolerancia a la glucosa y la obesidad (Cani *et al.*, 2007).

Por otra parte, experimentos en ratas, muestran que los fructanos del tipo de la inulina, específicamente de los oligofructanos, disminuyen la tasa glucosa/insulina, sugiriendo una mejora en la sensibilidad a la glucosa de las células beta (Busserolles *et al.*, 2003).

En la mayoría de los estudios que muestran un efecto benéfico de los oligofructanos sobre el metabolismo de la glucosa, se exhibe una menor ingesta de energía, sugiriendo un efecto sacietogénico, por lo cual se hipotetiza que la producción de péptidos intestinales, sería un mecanismo relevante para explicar tal efecto. El péptido 1 similar al glucagón (GLP-1), que es liberado por las células L enteroendócrinas, promueve la secreción de insulina y promueve la saciedad. En ratones que exhiben un receptor funcional de GLP-1, los siguientes efectos benéficos de los fructanos fueron observados: decremento en ingesta de energía, en masa grasa y en ganancia de peso corporal, así como una mejora en la tolerancia a la glucosa durante un test de tolerancia a la glucosa y una mejora a la resistencia hepática a la insulina, por lo cual se observa que GLP-1 juega un rol clave en el efecto sistémico de los fructanos del tipo de la inulina (Delzenne *et al.*, 2007).

Varios datos sugieren que los prebióticos pueden jugar un papel en el control de la obesidad y desordenes metabólicos asociados (Englyst y Englyst, 2005). Esto aplica especialmente a los fructanos del tipo de la inulina, fibra dietética fermentable que disminuye el peso corporal y mejora los niveles de lípidos sanguíneos y/o glucemia en ratas (Delzenne, 2003 y Busserolles *et al.*, 2003).

La digestibilidad de los carbohidratos y la homeostasis de la glucosa son importantes fenómenos para tener en cuenta cuando se evalúa la influencia de los fructooligosacáridos (FOS) sobre el metabolismo. Una mejora en la tasa de glucosa/insulina ha sido observada en ratas que reciben FOS adicionados a una dieta alta en fructosa (Busserolles *et al.*, 2003). La mayoría de los estudios muestran un efecto benéfico de los FOS u otros fructanos del tipo de la inulina sobre la homeostasis de los lípidos, sobre el metabolismo de la glucosa y sobre el desarrollo de masa grasa, los animales cuyas dietas fueron suplementadas con FOS exhibieron una menor ingesta de energía, sugiriendo un efecto sacietogénico (Delzenne *et al.*, 2007).

El entendimiento del mecanismo bioquímico por el cual los fructanos del tipo de la inulina modulan la saciedad, el metabolismo de la glucosa o el lipídico es esencial para proponer un consejo nutricional para desórdenes asociados con el síndrome metabólico. Desde hace más de 30 años se ha propuesto que las fibras dietéticas actúan como un obstáculo fisiológico para la ingesta de energía por un efecto sobre la saciedad. Sin embargo, el mecanismo y relevancia de la modulación endógena de la producción de péptidos intestinales por fibras dietéticas están pobremente documentadas (Delzenne *et al.*, 2007).

De los pocos ejemplos que existen, es aquel dado a través del análisis del efecto metabólico y sacietogénico de los fructanos de achicoria del tipo de la inulina (Delzenne, 2005; Cani, 2004).

Se ha tomado al péptido 1 similar al glucagón (GLP-1 por sus siglas en inglés) como objetivo, ya que es una hormona clave liberada de las células L enteroendócrinas en respuesta a la ingestión de nutrientes. Promueve la secreción de insulina y la proliferación de células β en el páncreas, controla la síntesis de glucógeno en las células musculares y promueve la saciedad. Estas acciones hacen al GLP-1 altamente atractivo como agente terapéutico, pero su rápida degradación enzimática por la dipeptidil peptidasa IV (DPPIV) lo hace inapropiado para ser inyectado como terapia (Drucker, 2002; Burcelin, 2005).

El GLP-1 es producto del mismo gen que codifica al glucagón, un hecho que fue probado después de su clonación (Bell *et al.*, 1983). Es secretado principalmente por las células L localizadas en el duodeno, yeyuno, íleon y en el colon.

Ratas alimentadas con una dieta estándar enriquecida con FOS exhibieron un significativo incremento en el GLP-1 colónico y del plasma portal (Cani *et al.*, 2004; Cani *et al.*, 2005a; Cani *et al.*, 2005b; Daubioul *et al.*, 2005). La producción de GLP-1 (7-36) amida ocurre en diferentes partes del intestino distal (Orskov, 1989), dicha producción se puede observar en la distribución sistémica del GLP-1 amida a través de la vena portal (Delzenne *et al.*, 2007).

Basado en datos animales, puede ser hipotetizado que los FOS parecen ser una herramienta promisoría en la nutrición para controlar el síndrome metabólico en pacientes obesos, pero a la fecha pocos estudios han reportado haber probado tales efectos de los carbohidratos fermentables, principalmente fructanos del tipo de la inulina, en humanos (Delzenne *et al.*, 2007).

Un estudio reciente muestra que la administración diaria en humanos de 20 g/día de FOS, incrementa significativamente el GLP-1 en plasma después de una comida mezclada (Piche *et al.*, 2003) así como que en humanos sanos que ingieren 16 g/día promueve la saciedad después del desayuno y la cena y reduce el hambre y futuro consumo de alimento después de la cena.

La modulación de péptidos intestinales por nutrientes colónicos tales como FOS y otros carbohidratos no digestibles, guiarían a una nueva propuesta nutricional (en la que se incluye el desarrollo de alimentos funcionales), dedicados a mejorar la sensibilidad a la insulina, la saciedad y la ganancia en el peso corporal pacientes con diabetes tipo 2 (Delzenne *et al.*, 2007).

Por los efectos fisiológico benéficos derivados de la ingesta de inulina, se considera que la adición de esta fibra le confiere al yoghurt la denominación de alimento funcional. El cual ha sido definido como aquel alimento que demuestra satisfactoriamente que afecta benéficamente una o más funciones en el cuerpo, más allá de razonables efectos nutricionales, en una manera que es relevante ya sea para mejorar el estado de salud y bienestar y/o reducción de riesgo de enfermedades (Diplock *et al.*, 1999).

V. JUSTIFICACIÓN

Debido a la alta incidencia de Diabetes Mellitus tipo 2 que actualmente se presenta en México, es necesario buscar alternativas para mejorar la alimentación de la población Mexicana, así como poder ofrecer opciones a las personas con este padecimiento metabólico.

Por lo anterior se propone que el yoghurt edulcorado a base de jarabe de agave y adicionado de inulina de agave al presentar bajo índice glucémico, representa una alternativa para los pacientes diabéticos que gustan de los alimentos dulces y también para aquellos consumidores que están inmersos en la cultura de los alimentos funcionales.

VI. HIPÓTESIS

El empleo de jarabe de agave como edulcorante en sustitución de sacarosa de caña y la suplementación de inulina de agave al yoghurt reducirán el índice glucémico de este alimento.

VII. OBJETIVOS

VII.1 Objetivo General

Elaborar un yoghurt edulcorado con jarabe de agave adicionado de inulina, con la característica de ser alimento de bajo índice glucémico.

VII.2 Objetivos Particulares

- Determinar el efecto de la composición de los jarabes de agave (estándar, con inulina y depurado) en su índice glucémico.
- Determinar el efecto que la sacarosa, el jarabe de agave y la inulina de agave tienen en el índice glucémico del yoghurt.

VIII. MATERIALES Y MÉTODOS

VIII.1 Materiales

Para la determinación del índice glucémico se evaluaron 7 alimentos: 3 de los cuales fueron jarabes de agave (estándar, con inulina y depurado), cuyas diferencias en composición se pueden observar en las Tablas 5-7 y 4 yoghurts, cuya formulación se indica en la Tabla 2.

Los jarabes de agave fueron proporcionados por la compañía Bioprocesos Fermentativos de Michoacán SA de CV y para la formulación de los yoghurts se utilizaron ingredientes comerciales, leche (Lala light), *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* liofilizados (YO-MIX de Danisco), sacarosa de caña (Ingenio Pedernales S.A. de C.V.) e inulina de agave (Bioprocesos Fermentativos de Michoacán S.A. de C.V.).

VIII.2 Elaboración de yoghurt

Se limpió y esterilizó el área de preparación del yoghurt, se colocó leche pasteurizada en una olla de acero inoxidable y se cubrió con papel aluminio, se calentó hasta 41-42°C momento en el que se inoculó con *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* liofilizados, se cubrió la olla con papel aluminio y se incubó la mezcla a 42°C por 6.5 horas.

Para el caso del yoghurt con inulina, también se trabajó en condiciones asépticas, se hizo llegar la leche hasta 50°C momento en el que se adicionó la inulina para facilitar la solubilidad, se mezcló la inulina y se continuó con el calentamiento hasta que la leche alcanzó 63°C temperatura a la que permaneció por 30 min. Posteriormente se colocó en un baño de hielo, al disminuir la temperatura

hasta 42°C se inocularon los *Lactobacillus bulgaricus* y *Streptococcus thermophilus* y se incubó la mezcla a 42°C por 6.5 horas.

Para ambos yoghurts al transcurrir las 6.5 horas se detuvo la fermentación colocándolos en un baño de hielo hasta lograr 4°C, posteriormente se refrigeró el yoghurt por mínimo 8 horas hasta ser edulcorado y envasado.

Tabla 2.- Formulación de yoghurts edulcorados a base de jarabe de agave, jarabe de agave suplementado de inulina y sacarosa de caña

Componentes para el yoghurt	% (p/p)			
	Jarabe de agave	Jarabe e Inulina de Agave	Jarabe de Sacarosa	Jarabe de Sacarosa e Inulina de Agave
Leche entera	88.9866	87.4866	88.9866	87.4866
Jarabe de Agave a 70°Bx	11	11	0	0
Solución de Sacarosa a 70°Bx	0	0	11	11
Inóculo (YO-MIX)	0.0134	0.0134	0.0134	0.0134
Inulina de Agave en polvo	0	1.5	0	1.5

VIII.3 Análisis de la composición de jarabe e inulina de agave por HPLC

La composición de la inulina y los jarabes de agave se determinó por cromatografía líquida de alta resolución (HPLC, por sus siglas en inglés) con un equipo Varian Prostar, columna Aminex HPX-87C de Bio Rad, con agua para HPLC a 80° C como fase móvil con flujo de 0.6 ml/min y presión de 50 atm, en un programa de 20 min.

Previo al análisis por HPLC, las muestras se diluyeron al 1% en agua destilada, homogeneizaron y filtraron con una membrana de nitrocelulosa de tamaño de poro 0.22 μm .

VIII.4 Examen de tolerancia a la glucosa

Se utilizó glucosa anhidra y agua potable para la solución de glucosa (75 g/250 ml) a ingerir durante este examen. Para la toma de muestras sanguíneas venosas se utilizaron tubos BD Vacutainer® de 3 ml adicionados de heparina de litio, agujas BD Vacutainer® de 21 G, torniquete y material de curación como algodón y etanol para limpieza de la zona de punción.

VIII.5 Metodología

VIII.5.1 Examen de tolerancia a la glucosa

Se realizaron exámenes de tolerancia a la glucosa de acuerdo a la metodología internacional establecida por la WHO en el reporte “Definition and diagnosis of diabetes mellitus and intermediate hyperglycemia” en 2006, en el que se indica la ingesta en ayunas de 75 g de glucosa en 250 ml de agua. Así como la medición de glucosa plasmática a los 0 y 120 minutos de la ingesta de glucosa.

VIII.5.2 Determinación de IG

Este estudio se llevó a cabo de acuerdo a la metodología internacional reconocida, publicada en el “Reporte: Carbohidratos en la nutrición humana” de la FAO en 1998 y que actualmente ha sido revisado y actualizado (Wolever *et al.*, 2003; Wolever *et al.*, 2008).

El protocolo se dividió en 2 sesiones, durante la primera se evaluaron 2 jarabes de agave (estándar y con inulina), en la segunda se evaluaron 4 yoghurts y un jarabe de agave (depurado).

VIII.5.2.1 Participantes

Se seleccionaron 10 individuos para la determinación del IG, quienes no debieron presentar síntomas clínicos o síntomas de enfermedades crónicas, tolerancia dañada de glucosa o sufrieran alguna alergia a los alimentos. Así como tampoco debieron presentar ni bajo peso o sobrepeso, por lo cual su índice de masa corporal se debió encontrar entre 18-25 Kg/cm².

Los sujetos fueron instruidos a suspender cualquier actividad física intensa por al menos 1 día previo a las mediciones y a continuar con su patrón alimentario acostumbrado (Wolever *et al.*, 2003 y Aguirre *et al.*, 2006).

VIII.5.2.2 Alimentos para determinar el índice glucémico de jarabes de agave estándar y con inulina

El alimento de referencia glucosa y los dos jarabes fueron servidos a los 10 sujetos en cantidades tales que contuvieron 50 gramos de carbohidratos disponibles. Glucosa pura disuelta en agua fue usada como alimento de referencia.

La glucosa fue consumida por cada participante en tres ocasiones separadas, mientras que los jarabes evaluados se ingirieron por los 10 participantes en sólo una ocasión.

Cada porción de jarabe y glucosa fue pesada y diluida en 250 ml de agua, vertida en una botella de plástico, la cual se etiquetó y almacenó toda la noche en el refrigerador. En la mañana siguiente, los jarabes prueba y el alimento de referencia fueron sacados del refrigerador poco antes de ser servidos.

VIII.5.2.3 Alimentos para determinar el índice glucémico de yoghurts

Las porciones de alimento de referencia, fueron preparadas un día antes de ser ingeridas, se disolvieron 50 gramos de glucosa en 250 ml de agua tibia y se vertieron en una botella de plástico, la cual fue etiquetada y almacenada toda la noche en el refrigerador. A la mañana siguiente, el alimento de referencia se sacó del refrigerador poco antes de servirse.

Cada porción de yoghurt se preparó el día antes de ser consumida, se pesó en una botella de plástico la cantidad adecuada para asegurar 50 gramos de carbohidratos disponibles. El yoghurt a probar se etiquetó y almacenó toda la noche en el refrigerador. A la mañana siguiente, el alimento fue sacado del refrigerador poco antes de ser servido.

La glucosa se consumió por cada participante en tres ocasiones separadas, mientras que los yoghurts evaluados fueron ingeridos por los 10 participantes en sólo una ocasión.

Los carbohidratos disponibles se determinaron mediante las técnicas indicadas por la AOAC en 1990, restando a la cantidad de carbohidratos totales la fibra dietética (Wolever *et al.*, 2003 y Aguirre *et al.*, 2006). Para lograr lo anterior a los yoghurts se les determinó: humedad, cenizas, lípidos, nitrógeno proteico y fibra indigestible.

VIII.5.2.4 Procedimiento experimental

Los participantes se presentaron en mañanas continuas posteriores a un ayuno nocturno de 10 horas, a las 8 am. Los sujetos fueron instruidos para lavarse las manos y frotárselas para mantenerlas cálidas, se tomaron dos muestras de sangre de capilar, 0.5 ml, a los -5 y 0 minutos, la punciones se realizaron con lancetas desechables de penetración de 3 mm (Safety Lancet Extra, Sarstedt Ag & Co., Nümbrecht, Alemania) y la muestra se colectó en un tubo para colección de sangre capilar que contenía heparina de litio (Multivette 600 FH, Sarstedt Ag & Co., Nümbrecht, Alemania).

Después de la toma de muestra al tiempo 0, a los participantes se instruyeron para continuar en su asiento y consumir una porción del alimento de referencia (glucosa anhidra) o alimento prueba. Dichos alimentos se consumieron a un ritmo cómodo dentro de los 12 primeros minutos. Se encendió un cronómetro para cada participante tan pronto como empezaron la ingesta.

Durante las siguientes dos horas los participantes continuaron sentados o con mínimos movimientos y se tomaron muestras de sangre a los 15, 30, 45, 60, 90 y 120 minutos después de iniciada la ingesta.

Cada muestra de sangre se centrifugó inmediatamente por 10 minutos a temperatura ambiente a 3500 RPM después de ser colectada. Y la capa de plasma se colectó en un micro tubo, se etiquetó. Si las muestras se procesaron el mismo día se almacenaron en hielo hasta su análisis, si fueron analizadas después se mantuvieron en congelación a -20°C hasta que las concentraciones de glucosa fueron determinadas.

VIII.5.2.5 Medición de las concentraciones de glucosa en plasma

La concentración de glucosa en el plasma de cada una de las muestras de los 10 participantes se cuantificó por duplicado por medio del ensayo enzimático de la glucosa hexoquinasa y el analizador Cobas Integra 400 plus, de Roche Diagnostics.

Se construyó una curva de respuesta a la glucosa en plasma en 2 horas, para cada uno de los alimentos ingeridos por cada participante. Se utilizó el promedio del duplicado de la concentración de glucosa en plasma para cada una de las muestras sanguíneas. Las dos muestras tomadas en ayunas para cada alimento se promediaron para proveer la concentración basal de glucosa.

Se calculó el área bajo la curva de la respuesta de glucosa en plasma para obtener un solo valor, el cual expresó el incremento de la glucosa en sangre en ese participante como resultado de haber ingerido determinado alimento durante la sesión de prueba de dos horas.

El valor del índice glucémico para cada alimento se calculó para cada sujeto al dividir el valor del área bajo la curva de la glucosa en plasma del alimento prueba entre el promedio del área bajo la curva de la glucosa para el alimento de referencia y al multiplicar por 100 para obtener un valor porcentual.

La media de los valores resultantes será el IG del alimento. El incremento del área bajo la curva de la respuesta de glucosa, ignorando áreas por debajo del estado basal, será calculado geométricamente utilizando el método trapezoidal (Wolever *et al.*, 2003; Aguirre *et al.*, 2006).

VIII.5.2.6 Análisis de Datos

La media, la desviación estándar y error estándar de la media del IG de los alimentos evaluados fueron calculados. Los datos fueron sujetos a análisis de varianza (ANOVA), posteriormente se realizó la prueba de Fisher LSD. El programa estadístico utilizado fue el Statistica versión 7.0

IX. RESULTADOS

IX.1 Características de los voluntarios

Como parte de los requisitos para participar en la determinación del índice glucémico de los alimentos 19 voluntarios fueron evaluados médicamente, de los cuales se descartaron a 4 por encontrarse en estado de gestación, no cumplir con el índice de masa corporal indicado o no poder cumplir con el tiempo del protocolo.

Tabla 3.- Características de los voluntarios para la determinación de IG de jarabes de Agave y yoghurts.

Sujeto	Género	Edad	IMC	Nacionalidad
2	F	27	23.42	Mexicana
3	F	25	21.36	Mexicana
4	M	29	23.78	Mexicana
5	M	22	23.83	Mexicana
6	F	22	21.51	Mexicana
7	F	23	20.31	Mexicana
8	F	22	24.95	Mexicana
9	F	22	21.51	Mexicana
10	F	26	22.25	Mexicana
11	F	23	22.86	Mexicana
12	M	23	22.86	Mexicana
13	F	22	21.50	Mexicana
14	F	23	21.67	Mexicana
16	M	24	23.38	Mexicana
17	F	24	21.87	Mexicana
Promedio		24.43	22.13	
Desv Est		2.44	1.162	

En la Tabla 3 se observan las características de los voluntarios que participaron en la determinación de IG, podemos encontrar que el 27% fueron hombres, respecto a la edad e IMC la muestra fue homogénea con una edad promedio de 24.43 ± 2.44 años, en el caso de la nacionalidad no existió diferencia entre individuos. Se puede considerar que esto no sesga los resultados, ya que de acuerdo a lo descrito por Wolever *et al.*, en 2008, el IG no está relacionado al sexo, etnia o edad.

Los voluntarios que se sometieron al examen de tolerancia a la glucosa presentaron concentraciones de glucosa plasmática dentro del rango necesario para tener un metabolismo de carbohidratos normal. En ayunas <110 mg/dL y transcurridas 2 horas del consumo de 75 g de glucosa <140 mg/dL (WHO/IDF, 2006). Los resultados del examen de tolerancia a la glucosa se muestran en la Tabla 4. Para el cumplimiento de este requisito se evaluó a 17 voluntarios, sin embargo sólo 15 permanecieron en el protocolo.

Tabla 4.- Examen de tolerancia a la glucosa (75g de glucosa)

Tiempo (min)	Sujetos/ concentración de glucosa plasmática (mg/dL)																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
0	84	82	86	90	99	90	83	89	92	90	92	92	90	99.6	93	93.7	91.5
60	110	99	88	128	164	113	105	94	110	84	65	110	139	97.3	98.5	152	81.7
120	92	98	88	109	83	69	90	84	85	90	70	87	92	98.5	104	105	104

De los resultados del examen de tolerancia a la glucosa practicado a los voluntarios se observa que para algunos individuos la concentración de glucosa plasmática a los 60 min fue superior a 140 mg/dL, sin embargo a los 120 min todos los individuos tuvieron una concentración de glucosa plasmática normal.

IX.2 Análisis de jarabe de agave para determinar la porción a ingerir

La composición de los jarabes se realizó por HPLC, al calcular las dosis de jarabe se excluyó a la fibra (inulina) para lograr 50 gramos de carbohidratos disponibles. Entre los carbohidratos presentes en los jarabes existió similitud en concentración y composición en la variedad estándar y con inulina, como se observa en las Tablas 5-7, donde también se puede observar la composición del jarabe de agave depurado, cuyo porcentaje de fructosa fue más elevado que en cualquiera de los otros dos jarabes.

Tabla 5.- Determinación de dosis para 50 g de carbohidratos disponibles en jarabe de agave estándar

Dosis para jarabe estándar (JAS)		
Sólidos disueltos	67.60 %	54.2204 g
De los cuales:		
Carbohidratos disponibles		
	92.2162 %	50 g
Sacarosa	2.6735 %	1.4495 g
Disacáridos	2.3034 %	1.2489 g
Glucosa	22.9302 %	12.4328 g
Fructosa	63.9523 %	34.6751 g
Monosacáridos	0.3568 %	0.1934 g
Otros	7.7839 %	4.2204 g
Carbohidratos disponibles a obtener:		50 g
Dosis necesaria		80.2077 g

Como se observa en la tabla anterior para asegurar 50 g de carbohidratos disponibles, se requirió una dosis 80.2077 g de JAS, de los cuales de fructosa y glucosa libres fueron 34.6551 g y 12.4328 g, respectivamente.

Tabla 6.- Determinación de dosis para 50g de carbohidratos disponibles en jarabe de agave con inulina

Dosis para jarabe de agave con inulina (JAI)		
Sólidos disueltos	67.63 %	62.8727 g
De los cuales:		
Carbohidratos disponibles	79.5257 %	50 g
Disacáridos	2.7325 %	1.7179 g
Glucosa	16.0616 %	10.0983 g
Fructosa	60.7316 %	38.1836 g
Inulina	18.7074 %	11.7618 g
Otros	1.7668 %	1.1108 g
Carbohidratos disponibles a obtener:		
		50 g
Dosis necesaria		92.9657 g

En la tabla 6 se observa que la dosis necesaria para garantizar 50 g de carbohidratos disponibles de JAI fue de 92.9657 g, de los cuales de fructosa y glucosa libres fueron 38.1836 g y 10.0983 g, sin embargo también se encuentra que un 18.7074% de los sólidos disueltos corresponden a la inulina, lo cual es equivalente a 11.7618 g. La presencia de esta fibra es la principal diferencia con el JAS.

Tabla 7.- Determinación de dosis para 50 g de carbohidratos disponibles en jarabe de agave depurado

Dosis para jarabe de agave depurado (JAD)		
Sólidos disueltos	73.94 %	52.1967 g
De los cuales:		
Carbohidratos disponibles	95.7913 %	50 g
Sacarosa	2.8564 %	1.4909 g
Glucosa	8.2154 %	4.2881 g
Fructosa	84.72 %	44.221 g
Inulina	4.2087 %	2.1968 g
Carbohidratos disponibles a obtener:		50 g
Dosis necesaria		70.5934 g

En la tabla 7 se observa la composición del JAD, del cual fueron necesarios 70.5934 g para garantizar 50 g de carbohidratos disponibles. La característica principal de este jarabe fue su alto contenido de fructosa libre, 84.72% respecto a los sólidos disueltos equivalente a 44.221 g, mientras que la cantidad de glucosa libre 4.2882 g, resultó menor a la contenida en el JAS y JAI.

IX.3 Concentraciones de glucosa plasmática de los voluntarios en respuesta a la ingesta de 50 g de carbohidratos disponibles en forma de jarabe de agave

Durante una primera sesión de determinaciones de índice glucémico se evaluó el jarabe de agave estándar y el jarabe de agave con inulina. Los resultados obtenidos de la ingesta del alimento de referencia (concentraciones plasmáticas de glucosa en un lapso de 2 horas) se muestran en las Tablas 8-10. En una segunda sesión se determinó el índice glucémico del jarabe de agave depurado, para el cual las concentraciones de glucosa plasmática correspondientes al alimento de referencia son las mismas que para los yoghurts evaluados en la segunda sesión, esto se visualiza en las Tablas 22-24, mientras que las concentraciones de glucosa plasmáticas correspondientes a las ingestas de los jarabes de agave estándar, con inulina y depurado se observan en las Tablas 11, 12 y 13 respectivamente.

Tabla 8.- Concentraciones de glucosa plasmática (mg/dL) para la primera ingesta del alimento de referencia

Alimento de referencia: 50 g de glucosa

Sujetos – Concentraciones de glucosa(mg/dL)										
Tiempo (min)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
0	86.5	94	99.5	88.5	98.5	92	97.5	94	92	98.5
15	105.5	105	125	132	165	114	104	128	124	112.5
30	130	172	183	155	170	137	127	141.25	130	157.5
45	94.5	193	191	147	114	117	136	123	113	168.5
60	103.5	110	160	103	120.25	111	128	91	106	153.5
90	128	141	131	93	174	120	123	127	130	109.75
120	117	72	70	73	135	103	92	102	117	128.5
*ABC	3143	4365	5085	2936	5604	2813	2501	2702	3195	4170

*Área bajo la curva

Tabla 9.- Concentraciones de glucosa en plasma (mg/dL) para la segunda ingesta del alimento de referencia

Alimento de Referencia : 50 g de glucosa

Sujetos – Concentraciones de glucosa(mg/dL)										
Tiempo (min)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
0	80.25	80.25	91.5	91.25	84	89.5	97.5	93.5	95.75	98.25
15	97	97	119	119	125.5	112	129	140.5	125	127
30	118	118	167.5	149.5	149	122.5	143	147.5	185.5	166
45	94.5	94.5	167	156	121	115.5	115.5	131.5	172	178.5
60	87.5	87.5	132.5	137	115	114	125.5	111	128.5	165.5
90	94	94	91	94	118.5	110	121	115.5	124.5	138
120	73.5	73.5	71	86.5	103.5	89	101.5	98	115	135.5
*ABC	1539	1594	3600	3347	4178	2381	2820	3206	4817	5916

* Área bajo la curva

Tabla 10.- Concentraciones de glucosa en plasma (mg/dL) para la tercera ingesta del alimento de referencia

Alimento de Referencia : 50 g de glucosa

Sujetos – Concentraciones de glucosa(mg/dL)										
Tiempo (min)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
0	80.75	80	81	83.5	75	84.25	83	87.5	81.25	81.75
15	98	124	146.5	121	94	105	99	112	123	94.5
30	119.5	103	142	136	126.5	137	123	135	145.5	135
45	110.5	151	164	141	110	118.5	122.5	108	131.5	141.5
60	94.5	122	152	122.5	125.5	106	118	103.5	118	147.5
90	102	100.5	105	105.5	117.5	99.5	123.5	103	105.5	81.5
120	86	71	57	71	96	92	101	81	82	89
*ABC	2312	3536	5280	3630	4309	2679	3705	2144	3909	3467

* Área bajo la curva

Tabla 11.- Concentraciones de glucosa en plasma (mg/dL) para la ingesta de jarabe de agave estándar (JAS)

Sujetos – Concentraciones de glucosa(mg/dL)										
Tiempo (min)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
0	88.5	91.25	97.5	93.5	81.5	88.5	98.75	95.75	89.5	102.25
15	92.5	111.5	103	110	101	102	113.5	125	119.5	100.5
30	108	110.5	117	113	100	102.5	111.27	127.5	114.5	108.5
45	107	89.5	111	105	102.3	88.5	107	108	97.5	108.5
60	110	91.5	98.5	97	92	93	108	99.5	88	107.27
90	90	93	95	95	80	95.5	94	105.5	86	100.5
120	84.5	91	94.5	89	79.5	92.5	94	100	87	96.5
*ABC	1142	580.5	589	819.4	1099	783.8	693.8	1539	935.5	270.7

*Área bajo la curva

Tabla 12.- Concentraciones de glucosa en plasma (mg/dL) para la ingesta de jarabe de agave con inulina (JAI)

Sujetos – Concentraciones de glucosa(mg/dL)										
Tiempo (min)	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
0	89.5	77.75	87.75	79.25	74.75	79.5	92.25	80.75	75.5	80.5
15	98	92.5	100.5	87	84	79.5	101	96	85.5	87
30	115	92	106.5	98	96.5	90	120.5	98.5	109.5	97.5
45	101.5	78.5	98	85.5	86	84.5	110	82	89	87.5
60	93.5	75.5	80	88	82.5	83	97.5	84.5	86	82.5
90	88	78.5	80.5	80	75	86.5	90.5	87	74.5	82
120	88	74.5	81.5	79	74.5	86	94	88.5	81	84.5
* ABC	763.6	442	593.2	707.8	813.8	618.8	919.7	901.9	1155	607.5

* Área bajo la curva

Tabla 13.- Concentraciones de glucosa en plasma (mg/dL) para la ingesta de jarabe de agave depurado (JAD)

Tiempo (min)	Sujetos - Concentraciones de glucosa (mg/dL)									
	2	3	4	7	10	12	13	14	16	17
0	96.5	89.75	99.75	85.75	100.75	106.25	98	92.5	102.25	96.5
15	100	100	110.5	94.5	111	111.5	104.5	108	116	111
30	110	107.5	125.5	107.5	114	119	116	101	114	117
45	109.5	102.5	124.5	97.5	94.5	113	108	93	112.5	96
60	89.5	97	120	92	98.5	105.5	101.5	92.5	108	97
90	92	93.5	99	89.5	99.5	101.5	97	92.5	100.5	96
120	91	91.5	92	88.5	101.5	109	95.5	91	99.5	96.5
*ABC	756.8	913.1	1491	928.1	467.9	509.5	640.4	390	719.1	540.2

* Área bajo la curva

IX.4 Obtención del índice glucémico de jarabes de agave

La determinación del IG de los alimentos prueba, se dividió en 2 sesiones, en ambas participaron 10 voluntarios, en la primera se midió el IG del jarabe de agave estándar y el jarabe de agave con inulina. En la segunda sesión se evaluó el IG del yoghurt con sacarosa, yoghurt con jarabe de agave, yoghurt con sacarosa e inulina, yoghurt con jarabe de agave e inulina y también del jarabe de agave depurado. Cinco de los voluntarios que participaron en la primera sesión también lo hicieron en la segunda, para la cual se incorporaron 5 nuevos voluntarios, lo anterior no está restringido en la metodología internacional para la determinación de IG y se ejemplifica en las determinaciones realizadas por Miller *et al.* en 2003.

Aunado a la determinación del IG, se obtuvieron las desviaciones estándar y los errores estándar de las medias como se observa en las Tablas 14-16, así mismo se pueden observar las diferencias entre el IG de los jarabes de agave y el alimento de referencia en la Figura 5. Las respuestas glucémicas respecto a la glucosa en estado basal provocadas por la ingesta de estos jarabes se observan en las Figuras 6 y 7.

Tabla 14.- Índice Glucémico del Jarabe de Agave Estándar (JAS)

	Sujetos									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
Prom ABC Glucosa	2331	3165	4655	3304	4697	2624	3009	2684	3974	4518
ABC Jarabe Estándar	1142	580.5	589	819.4	1099	783.8	693.8	1539	935.5	270.7
IG por sujeto	49	18	13	25	23	30	23	57	24	6

Índice Glucémico del JAS	27
Desv Est	16
SEM	5
n	10

El IG para el JAS fue de 27 ± 5 S.E.M., valor resultante de promediar el IG de este edulcorante obtenido por cada sujeto. Así mismo, el valor de IG obtenido para el JAI fue de 23 ± 3 S.E.M.

Tabla 15.- Índice Glucémico del Jarabe de Agave con Inulina (JAI)

	Sujetos									
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	13
Prom ABC Glucosa	2331	3165	4655	3304	4697	2624	3009	2684	3974	4518
ABC Jarabe con Inulina	763.6	442	593.2	707.8	813.8	618.8	919.7	901.9	1155	607.5
ÍG por sujeto	33	14	13	21	17	24	31	34	29	13

Índice Glucémico del JAI	23
Desv Est	8
SEM	3
n	10

Tabla 16.- Índice Glucémico del Jarabe de Agave Depurado (JAD)

	Sujetos									
	2	3	4	7	10	12	13	14	16	17
Promedio ABC Glucosa	3944	3446	3903	4989	3482	3097	6949	2493	4559	4300
ABC Jarabe de agave depurado	415.9	913.1	1364	928.1	320.6	381.3	584.6	367.5	645.5	521.3
Índice Glucémico por sujeto	11	26	35	19	9	12	8	15	14	12

Índice Glucémico del JAD	16
Desv Est	8
SEM	3
n	10

En el caso del JAD su IG, 16 ± 3 S.E.M., fue el menor de los tres jarabes, como se observa en la figura 5, también se aprecia que la presencia de inulina tiende a disminuir del IG del jarabe, sin embargo no es una reducción significativa ya que no se encuentra diferencia entre el IG del JAS y el JAI.

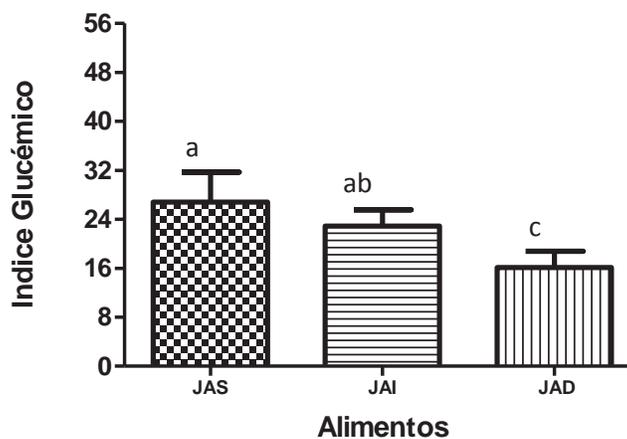


Figura 5.- Índice glucémico del jarabe de agave estándar, con inulina y depurado.

Los datos representan las medias \pm S.E.M. Letras diferentes indican diferencia significativa, Fisher LSD ($P < 0.05$).

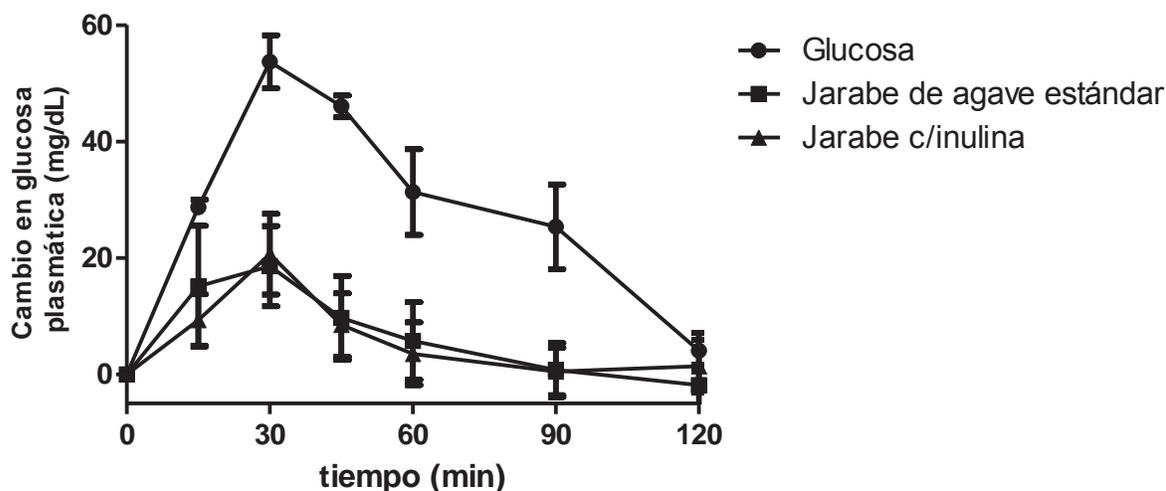


Figura 6.- Cambio en la glucosa plasmática de los voluntarios respecto a la glucosa en ayunas provocada por la ingesta de 50 g de carbohidratos disponibles de glucosa, jarabe de agave estándar y con inulina.

Barras indican desviación estándar, n=10.

En la figura 6 se muestra el cambio en la glucosa plasmática de los voluntarios provocada por la ingesta de 50.15 g glucosa, 80.20 g jarabe de agave estándar y 92.96 g jarabe de agave con inulina, de tal manera que se consumieron 50 g de carbohidratos disponibles de cada uno de los alimentos. Se puede observar que para los 3 alimentos la concentración más elevada de glucosa plasmática se presenta a los 30 minutos y que las curvas correspondientes al cambio en la glucosa plasmática provocado por el jarabe de agave estándar y con inulina, prácticamente se empalman, lo que concuerda con la figura 5, donde no se aprecia diferencia significativa con el IG del JAS y JAI.

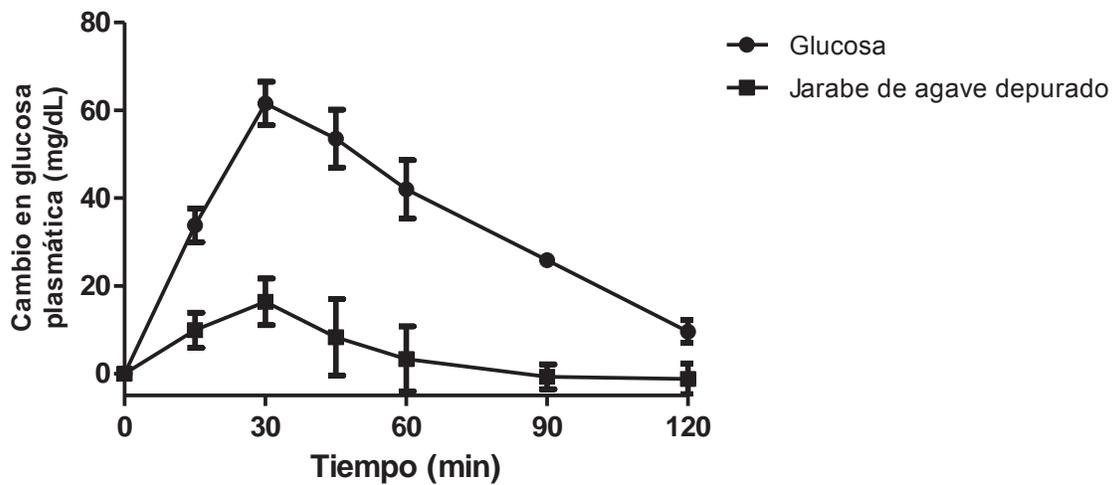


Figura 7.- Cambio en la glucosa plasmática de los voluntarios respecto a la glucosa en ayunas provocada por la ingesta de 50 g de carbohidratos disponibles de glucosa y jarabe de agave depurado.

Barras indican desviación estándar, n=10

En la figura anterior se muestra el cambio en la glucosa plasmática de los voluntarios provocada por la ingesta de 50.15 g de glucosa y 70.59 g de JAD de tal manera que se consumieron 50 g de carbohidratos disponibles de cada uno de los alimentos. Se puede observar que para los 2 alimentos la concentración más elevada de glucosa plasmática se presenta a los 30 minutos, lo cual se presenta como un patrón normal tanto para los alimentos de referencia como para los alimentos prueba.

IX.5 Análisis de yoghurt para la determinación de la porción a ingerir

Durante la elaboración de los yoghurts se utilizó inulina en polvo, la cual fue analizada por HPLC, el resultado de la composición de dicha fibra se muestra en la Tabla 17, donde se observa que la inulina en polvo presentó una pureza de 89.5884% y remanentes de fructosa, derivados de la hidrólisis de fructanos del agave.

Tabla 17.- Composición de la inulina de agave en polvo, determinada por HPLC

Componente	% de sólidos
Inulina	89.5884
Fructosa	3.9223
Otros	6.4893

Se realizaron análisis bromatológicos a los yoghurts, de acuerdo a la técnica recomendada por la AOAC en 1990, esto para cuantificar la cantidad de carbohidratos disponibles y determinar la dosis necesaria para lograr 50g de estos carbohidratos. Los resultados obtenidos se pueden observar en las Tablas 18-21.

El porcentaje de carbohidratos disponibles en el YS fue de 12.6655 %, por lo cual se requirió una porción de 394.7732 g para garantizar 50 g de carbohidratos disponibles en este alimento, como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 18.- Determinación de dosis para 50g de carbohidratos disponibles en yoghurt con sacarosa (YS)

Dosis de yoghurt con sacarosa	
Bromatológicos de yoghurt edulcorado con jarabe de sacarosa a 70°Bx:	
Humedad	83.54%
Cenizas	0.7241%
Ext. Etéreo	0.2385%
Proteína	2.7819%
Carbohidratos	12.7155%
*Ajuste de carbohidratos disponibles:	12.6655%
Carbohidratos disponibles a obtener:	50 g
Dosis necesaria:	394.7732g

*Se ajustaron los carbohidratos disponibles debido a que el jarabe de sacarosa utilizado presentó 69.725°Bx

Tabla 19.- Determinación de dosis para 50 g de carbohidratos disponibles en yoghurt con jarabe de agave (YA)

Dosis de yoghurt con jarabe de agave	
Bromatológicos de yoghurt edulcorado con jarabe de agave a 70°Bx:	
Humedad	83.6753%
Cenizas	0.7220%
Ext. Etéreo	0.2410%
Proteína	2.9170%
Carbohidratos	12.4447%
*Ajuste de carbohidratos disponibles:	12.0180%
Carbohidratos disponibles a obtener:	50 g
Dosis necesaria:	416.0426g

*Se ajustaron los carbohidratos disponibles debido a que el jarabe de agave estándar utilizado presentó 67.6°Bx

Acorde a los resultados fueron necesarios 416.0426 g de YA para obtener 50 g de carbohidratos disponibles, ya que el porcentaje de estos carbohidratos fue de 12.018% en este yoghurt, como se observa en la tabla 19.

Tabla 20.- Determinación de dosis para 50 g de carbohidratos disponibles en yoghurt con inulina y jarabe de sacarosa (YIS)

Dosis de yoghurt con inulina y jarabe de sacarosa	
Bromatológicos de yoghurt con inulina y edulcorado con jarabe de sacarosa a 70°Bx:	
Humedad	82.7053%
Cenizas	0.7415%
Ext. Etéreo	0.2876%
Proteína	3.0722%
Fibra	0.5937%
Carbohidratos	12.5997%
*Ajuste de carbohidratos disponibles:	12.5502%
Carbohidratos disponibles a obtener:	50 g
Dosis necesaria:	398.40g

*Se ajustaron los carbohidratos disponibles debido a que el jarabe de sacarosa utilizado presentó 69.725°Bx

Tabla 21.- Determinación de dosis para 50 g de carbohidratos disponibles en yoghurt con inulina y jarabe de agave estándar (YIA)

Dosis de yoghurt con inulina y jarabe de agave estándar	
Bromatológicos de yoghurt edulcorado con jarabe de agave a 70°Bx:	
Humedad	81.8374%
Cenizas	0.7109%
Ext. Etéreo	0.2227%
Proteína	2.9155%
Fibra	0.5937%
Carbohidratos	13.7198%
*Ajuste de carbohidratos disponibles:	13.2494%
Carbohidratos disponibles a obtener:	50 g
Dosis necesaria:	<u>377.3755g</u>

*Se ajustaron los carbohidratos disponibles debido a que el jarabe de agave estándar utilizado presentó 67.6°Bx

Al analizar la composición del YIS y el YIA, se observó que la proporción de fibra soluble contenida en ambos yoghurts fue de 0.5937%. Se puede observar que la cantidad de inulina cuantificada en estos lácteos fue menor a la adicionada desde la formulación, por lo cual se sugiere que sufrió una degradación o hidrólisis durante la fermentación del yoghurt. La cantidad requerida del YIS y YIA para garantizar 50 g de carbohidratos disponibles fue de 398.40 g y 377.3755 g, respectivamente.

IX.6 Concentraciones de glucosa plasmática de los voluntarios en respuesta a la ingesta de 50 g de carbohidratos disponibles en forma de yoghurt

Se midió la respuesta glucémica de los individuos durante las dos horas subsecuentes a la ingesta de una dosis de yoghurt y del alimento de referencia. Con los valores obtenidos se obtuvieron las áreas bajo la curva de la respuesta a la glucosa postprandial generada por cada uno de los voluntarios. Estos datos se pueden observar en las Tablas 22-28.

Tabla 22.- Concentraciones de glucosa plasmática (mg/dL) para la primera ingesta del alimento de referencia (Segunda evaluación)

Alimento de Referencia 1: 50 g de glucosa

Tiempo (min)	Sujetos - Concentraciones de glucosa (mg/dL)									
	2	3	4	7	10	12	13	14	16	17
0	102.75	98	100.25	92.75	96	107	100.75	94.75	101.5	98.75
15	137.5	138	154.5	101.5	144	121.5	141.5	113	140.5	136.5
30	168	156.5	185	139.5	175.5	149	201	145.5	180	157.5
45	181	144	148.5	158.5	152.5	129.5	210	129	166.5	138
60	162.5	135.5	133	176.5	143	134	210	96	141	124
90	128	129	105.5	138	122	116	166.5	117	108.5	128.5
120	115	108.5	82.5	111	106	116.5	139.5	114.5	80	124
*ABC	4986	4099	3642	5334	4748	2265	8766	2541	3757	3876

*ABC: Área bajo la curva

Tabla 23.- Concentraciones de glucosa plasmática (mg/dL) para la segunda ingesta del alimento de referencia (Segunda evaluación)

Alimento de Referencia: 50 g de glucosa

Sujetos - Concentraciones de glucosa (mg/dL)										
Tiempo (min)	2	3	4	7	10	12	13	14	16	17
0	103.75	93.5	101.75	94.25	95.5	104.25	96.75	94.75	98.25	99.5
15	144	127.5	165	111.5	138.5	114	141	123	153.5	141
30	154.5	156	170	148.5	153	169	195.5	139	140.5	171.5
45	170	139.5	144.5	149	116.5	159.5	185.5	129	206	164
60	170	126.5	139.5	131.5	105	135.5	182	114.5	177	154
90	122	115.5	126.5	126.5	107	114	148.5	108	124.5	135
120	116.5	83.5	84.5	114	85	122	134.5	118	99.5	140.5
*ABC	4588	3484	4159	3996	2509	3208	7513	2792	5657	5576

*ABC: Área bajo la curva

Tabla 24.- Concentraciones de glucosa plasmática (mg/dL) para la tercera ingesta del alimento de referencia (Segunda evaluación)

Alimento de Referencia 3: 50 g de glucosa

Sujetos - Concentraciones de glucosa (mg/dL)										
Tiempo (min)	2	3	4	7	10	12	13	14	16	17
0	96	86.5	98.25	87.75	99.5	100.25	100	89.25	101.5	87.25
15	94.5	121	150.5	120.5	113.5	126	118	117.5	149	136
30	107.5	130.5	188.5	173.5	159.5	158.5	139	134.5	190	131
45	131	109	109	164.5	150.5	160	174	106	169	133
60	128.5	110	141.6	149	130.5	132.5	152	101	139	105.5
90	120	106	133.5	121.5	125	122	155.5	102	114	109.5
120	104	98	88	109	93.5	143	100.5	99	71	107
*ABC	2259	2801	4013	5638	3265	3819	4568	2147	4263	3448

*ABC: Área bajo la curva

Tabla 25.- Concentraciones de glucosa plasmática (mg/dL) para la ingesta de yoghurt con sacarosa (YS)

Sujetos - Concentraciones de glucosa (mg/dL)										
Tiempo (min)	2	3	4	7	10	12	13	14	16	17
0	99	100.5	98.5	93.25	101.5	110	93.5	94.25	103	93.25
15	107.5	104.5	134	97.5	113.5	114	108.5	100.5	110	111.5
30	129.5	121	136.5	128.5	105	135	127.5	87	143	110
45	124	112.5	93.5	112.5	107.5	125	119	90	115.5	96.5
60	110.5	101	100	91	109	109	93	101.5	101	103.5
90	86	116	102	94.5	104.5	112	104.5	100.5	97	96
120	108	103.5	102	94	105	117.5	104	107.5	92.5	96.5
*ABC	1401	1069	1285	926.3	633.8	820.9	1595	732.6	1252	935.6

*ABC: Área bajo la curva

Tabla 26.- Concentraciones de glucosa plasmática (mg/dL) para la ingesta de yoghurt con jarabe de agave (YA)

Sujetos - Concentraciones de glucosa (mg/dL)										
Tiempo (min)	2	3	4	7	10	12	13	14	16	17
0	99	94.25	99.5	92.25	99.25	99.75	97.25	99	102.5	98.25
15	102.5	99.5	107.5	101.5	110	105.5	105.5	100	118	103
30	101	107	120.5	114	108.5	109	111	115.5	125.5	107
45	96	86.5	91	93.5	99	100.5	103.5	102.5	106.5	100.5
60	95.5	96	99	91.5	99	101.5	103.5	92	99	101
90	50	102	105.5	95.5	102.5	107.5	106.5	104.5	102	103
120	98	102	100	93	102.5	109	102	102	100	105
*ABC	1673	680.7	593.9	584.1	445	646.9	913.1	555.1	740.8	541.9

*ABC: Área bajo la curva

Tabla 27.- Concentraciones de glucosa plasmática (mg/dL) para la ingesta de yoghurt con inulina y sacarosa (YIS)

Sujetos - Concentraciones de glucosa (mg/dL)										
Tiempo (min)	2	3	4	7	10	12	13	14	16	17
0	97.25	93.75	101.5	91.25	98.5	98.5	93.75	97.25	103.5	104
15	101	114.5	129.5	99.5	116	112	111.5	123	114	117.5
30	116.5	123.5	138	120	114	134.5	134	146.5	138.5	125.5
45	106	93.5	105	102.5	108	107	115	99	103.5	104
60	93	98.5	96.5	99.5	104.5	110.5	105	111	107.5	108
90	96	102	105	99	104.5	115	110	105	99	112
120	99	102	105.5	92.5	103	107.5	97.5	102.5	107.5	103.5
*ABC	570.8	1232	1205	1161	1020	1770	1986	1554	840.4	848.4

*ABC= Área bajo la curva

Tabla 28.- Concentraciones de glucosa plasmática (mg/dL) para la ingesta de yoghurt con inulina y jarabe de agave (YIA)

Sujetos - Concentraciones de glucosa (mg/dL)										
Tiempo (min)	2	3	4	7	10	12	13	14	16	17
0	100.5	86.25	95.5	89.25	97.75	106.5	93.75	98.75	98.5	97
15	102	95	145	78.5	109.5	113	116	109.5	117	109
30	105.5	105.5	95.5	105.5	104.5	125.5	124.5	102	132	107.5
45	97.5	80.5	95.5	84	86.25	101.5	110	85.5	120.5	100
60	91.5	93	95.5	93	105.5	103.5	102.5	89	103.5	103.5
90	95.5	91.5	107.5	87	101.5	107.5	100.5	89	103.5	105
120	91.5	94.5	105	88	98.5	109	95	98.5	100.5	103.5
*ABC	601.9	826.4	1193	422.8	614.9	510.6	1457	885.2	1403	866.3

*ABC= Área bajo la curva

IX.7 Determinación del índice glucémico de yoghurts

Con el promedio de las ABC de la respuesta glucémica resultante de las tres ingestas del alimento de referencia y del ABC de cada yoghurt prueba, se obtuvo el índice glucémico de cada uno de estos yoghurts para cada individuo. Se calculó el IG final para yoghurt, así como la desviación estándar y el error estándar de la media, estos datos se pueden observar en las Tablas 29-32.

En la Figura 8 se presentan las diferencias entre el IG de los yoghurts evaluados y se puede observar que el uso del jarabe de agave disminuye significativamente el IG del yoghurt en comparación al mismo alimento edulcorado con sacarosa. Así mismo se observa un ligero incremento en el IG de los yoghurts al ser adicionados de inulina, lo cual puede atribuirse a la posible degradación que esta fibra pueda sufrir en el estómago y por lo cual represente un aporte adicional de carbohidratos disponibles.

Tabla 29.- Índice glucémico de yoghurt con sacarosa (YS)

	Sujetos									
	2	3	4	7	10	12	13	14	16	17
Promedio ABC Glucosa	3944	3446	3903	4989	3482	3097	6949	2493	4559	4300
ABC Yoghurt con sacarosa	1182	1069	1069	866.1	633.8	815.5	1594	605.4	882.1	935.6
Índice Glucémico por sujeto	30	31	27	17	18	26	23	24	19	22

IG del YS	24
Desv Est	5
SEM	2
n	10

El IG para el YS fue de 24 ± 2 S.E.M., valor resultante de promediar el IG de este yoghurt obtenido por cada sujeto.

Tabla 30.- Índice glucémico del yoghurt con jarabe de agave (YA)

	Sujetos									
	2	3	4	7	10	12	13	14	16	17
Promedio ABC Glucosa	3944	3446	3903	4989	3482	3097	6949	2493	4559	4300
ABC Yoghurt con jarabe de agave	73.5	611.3	482.6	579.8	440.9	646.9	913.1	456.8	623.5	541.9
Índice Glucémico por sujeto	2	18	12	12	13	21	13	18	14	13

IG del YA	13
Desv Est	5
SEM	2
n	10

El valor de IG obtenido para el YA fue de 13 ± 2 S.E.M. Se observa un decremento en el IG del yoghurt al sustituir al edulcorante tradicional (sacarosa) por jarabe de agave.

Tabla 31.- Índice glucémico de yoghurt con inulina y sacarosa (YIS)

	Sujetos									
	2	3	4	7	10	12	13	14	16	17
Promedio ABC Glucosa	3944	3446	3903	4989	3482	3097	6949	2493	4559	4300
ABC Yoghurt con inulina y sacarosa	454.8	1232	1005	1161	1020	1770	1986	1554	769	847.9
Índice Glucémico por sujeto	12	36	26	23	29	57	29	62	17	20

IG del YIS	31
Desv Est	17
SEM	5
n	10

Tabla 32.- Índice glucémico de yoghurt con inulina y jarabe de agave (YIA)

	Sujetos									
	2	3	4	7	10	12	13	14	16	17
Promedio ABC Glucosa	3944	3446	3903	4989	3482	3097	6949	2493	4559	4300
ABC Yoghurt c inulina y jarabe d agave	83.44	796.6	1193	212.3	509	409.1	1457	190.4	1403	866.3
Índice Glucémico por sujeto	2	23	31	4	15	13	21	8	31	20

IG del YIA	17
Desv Est	10
SEM	3
n	10

En el caso de los yoghurts suplementados de inulina se observó una tendencia al incremento del IG respecto a los yoghurts sin esta fibra, de tal manera que los IG para YIS y YIA fueron 31 ± 5 S.E.M y 17 ± 3 S.E.M., respectivamente.

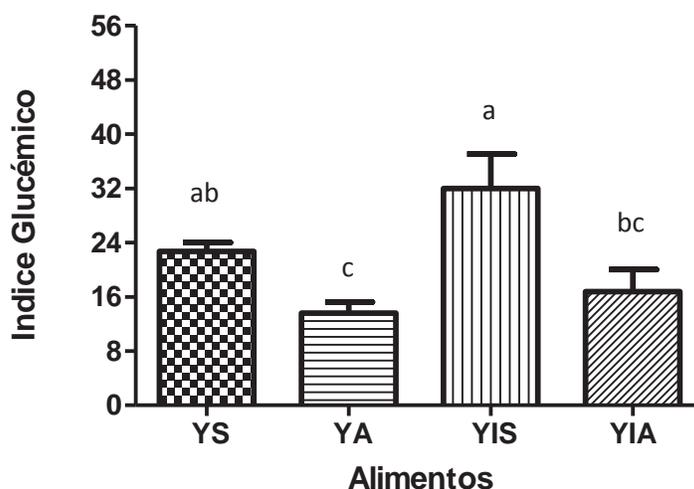


Figura 8.- IG de yogurt edulcorado con sacarosa (YS), con jarabe de agave (YA), con inulina y sacarosa (YIS), con inulina jarabe de agave (YIA).

Letras diferentes implican diferencia significativa, Fisher LSD ($P < 0.05$).

El yoghurt con jarabe de agave presentó menor IG que el yoghurt con sacarosa, no se encontró diferencia significativa en el IG de yoghurts del mismo edulcorante adicionado o no de inulina, aunque se observa un ligero incremento en IG tras la suplementación de esta fibra, como se aprecia en la figura 8.

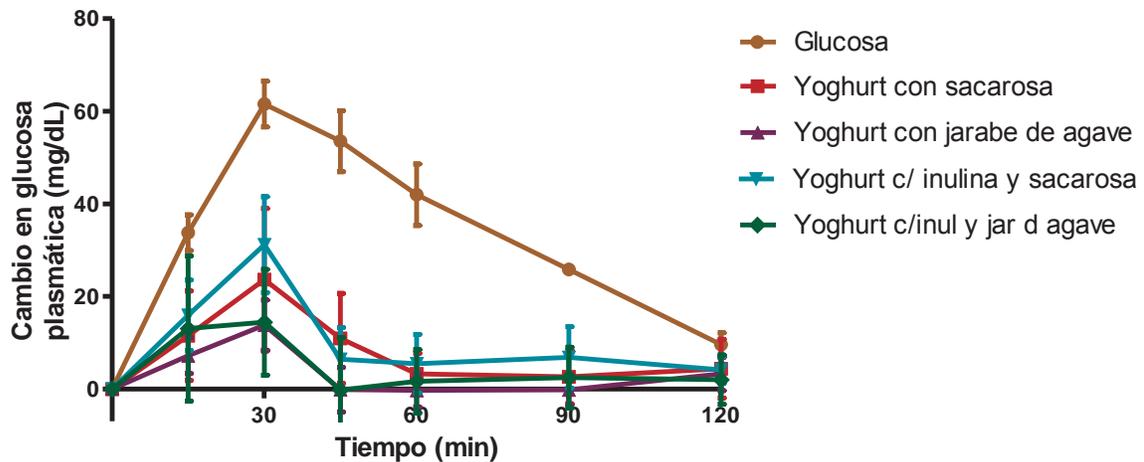


Figura 9.- Cambio en la glucosa plasmática de los individuos respecto a la glucosa en ayunas provocado por la ingesta de 50 g de carbohidratos disponibles de YS, YA, YIS y YIA.

Barras indican desviación estándar, n=10.

En la figura anterior se muestra el cambio en la glucosa plasmática de los voluntarios provocada por la ingesta de 50.15 g de glucosa, 394.77 g de YS, 416.04 g de YA, 398.40 g de YIS y 377.37 g de YIA, de tal manera que se consumieron 50 g de carbohidratos disponibles de cada uno de los alimentos. Se puede observar que para los 5 alimentos la concentración más elevada de glucosa plasmática se presenta a los 30 minutos, lo cual se presenta como un patrón normal tanto para los alimentos de referencia como para los alimentos prueba.

Así mismo se observa que el YA reduce el cambio en la glucosa plasmática de los voluntarios en comparación con el cambio provocado por el YS.

IX.8 Tablas de Índice Glucémico de jarabes de agave y yoghurts

Tabla 33.-Índice y carga glucémica de jarabes de agave

Alimento	Índice Glucémico	Tamaño de la porción (g)	Carbohidratos disponibles (g) /porción de Jarabe a 70°Bx	Carga glucémica
Jarabe de agave estándar	27 ^a	50	32.2757	8.6499 ^a
Jarabe de agave con inulina	23 ^{ab}	50	27.8340	6.3740 ^a
Jarabe de agave depurado	16 ^c	50	33.5270	5.4162 ^a

Letras diferentes representan diferencia significativa al aplicar la prueba de Fisher LSD con P<0.05

Tabla 34.-Índice y carga glucémica de yoghurts

Alimento	Índice Glucémico	Tamaño de la porción (g)	Carbohidratos disponibles (g) /porción con edulcorante a 70° Bx	Carga glucémica
Yoghurt con sacarosa	24 ^{ab}	250	31.8	7.5874 ^{ab}
Yoghurt con jarabe de agave	13 ^c	250	31.1	4.1947 ^c
Yoghurt con sacarosa e inulina	31 ^a	250	31.5	9.7724 ^a
Yoghurt con jarabe de agave e inulina	17 ^{bc}	250	34.3	5.7421 ^{bc}

Letras diferentes representan diferencia significativa al aplicar la prueba de Fisher LSD con P<0.05

X. DISCUSIÓN

Se determinó el índice glucémico de los jarabes de agave estándar, con inulina y depurado respecto a la glucosa como alimento de referencia, se obtuvieron valores de 27, 23 y 16, respectivamente. Además se observó que los jarabes de agave son edulcorantes de índice glucémico bajo, ya que presentan menos de 55 unidades de IG (Brand-Miller, *et al.*, 2002 y Foster-Powell, *et al.*, 2002).

Al realizar el análisis estadístico se observó que no hay diferencia estadística significativa entre el índice glucémico del jarabe de agave estándar y el jarabe de agave con inulina, lo que indica que la presencia de inulina no modifica el IG de estos edulcorantes. Por lo tanto, se puede decir que la similitud en el valor del índice glucémico en ambos jarabes está dada por la composición y proporción de los carbohidratos disponibles contenidos en ellos.

El jarabe de agave depurado (84% de fructosa) presentó un índice glucémico de 16 que es 30.43% menor que el IG del jarabe con inulina y 40.74% menor que el IG del jarabe de agave estándar, al realizar el análisis de varianza y aplicar la prueba de Fisher LSD ($P < 0.05$) se encontró diferencia estadística significativa entre el IG del jarabe depurado y el jarabe estándar, mientras que el jarabe con inulina no presentó diferencia estadísticamente significativa con los demás jarabes. Sin embargo se observa una clara tendencia en la disminución del índice glucémico a medida que se incrementa la proporción de fructosa en los jarabes y paralelamente se reduce la proporción Glucosa:Fructosa.

Los resultados obtenidos se relacionan con lo publicado por Foster-Powell *et al.* en 2002, donde se muestran los valores de IG para jarabe de agave con 90% y 97% de fructosa, los cuales son 11 y 10 respectivamente y se observa el comportamiento descrito en este trabajo, en el que se encuentra que a mayor concentración de fructosa en el jarabe de agave, se presenta una disminución en el IG de este edulcorante.

Por lo anterior respecto a los jarabes de agave que puede concluir que la concentración de fructosa influye directamente en el IG del jarabe de agave, ya que se observó que a mayor proporción de este monosacárido en el jarabe de agave depurado se presenta un decremento significativo en el IG de este alimento. Independientemente de la variedad de jarabe de agave (estándar, con inulina o depurado) de que se hable, estos edulcorantes presentan menor IG que la sacarosa y se clasifican como edulcorantes de bajo índice glucémico. Debido a que el objetivo del manejo del IG de los alimentos es reducir la respuesta glucémica postprandial que estos provocan, se recomienda el uso del jarabe de agave depurado sobre las demás variedades.

Al determinar el índice glucémico de los yoghurts edulcorados con: sacarosa, jarabe de agave estándar, sacarosa adicionado de 1.5% de inulina y jarabe de agave estándar adicionado 1.5% de inulina, se obtuvieron valores de: 24, 13, 31 y 17, respectivamente. Se utilizó glucosa como alimento de referencia.

El IG del yoghurt con jarabe de agave fue 45.83 % menor que el IG del yoghurt con sacarosa, mientras que el IG correspondiente al yoghurt con jarabe de agave e inulina resultó 45.16 % menor que el IG yoghurt con sacarosa e inulina. Los yoghurts edulcorados con jarabe de agave presentaron índices glucémicos inferiores a los de yoghurts edulcorados con sacarosa, mientras que el porcentaje de disminución fue constante para los yoghurts adicionados de inulina, lo cual implica que esta fibra impactó de similar manera el IG de los yoghurts independientemente del edulcorante utilizado, de tal forma que se mantuvo el decremento presentado en IG del yoghurt con jarabe de agave respecto al edulcorado con sacarosa.

Paralelamente se observó que la inulina ligeramente incrementó el índice glucémico de los yoghurts adicionados de inulina, lo cual puede ser atribuible a que esta fibra pudo ser parcialmente fermentada e hidrolizada hasta oligofructosa y/o fructosa por los microorganismos *L. bulgaricus* y *S. thermophilus* con que se elaboró el yoghurt. También se considera que una porción de fibra (inulina u oligofructosa) que llega al estómago podría sufrir hidrólisis hasta fructosa debido al bajo pH del estómago ya que la inulina inicia su degradación a pH inferior a 4 (Madrigal y

Sangronis, 2007), lo que podría explicar el incremento en el IG de los yoghurts en cuya formulación se adicionó inulina respecto a los yoghurts que utilizaron el mismo edulcorante, pero que no contenían inulina. De tal manera que el IG del yoghurt con jarabe de agave e inulina es 30.76% mayor que el IG del yoghurt con jarabe de agave y el patrón se repite para el IG del yoghurt con sacarosa e inulina que resultó 29.16% mayor que el IG del yoghurt con sacarosa.

Con los resultados obtenidos, se confirma la hipótesis de que el yoghurt edulcorado con jarabe de agave presenta un índice glucémico inferior al edulcorado con sacarosa, al realizar el análisis de varianza y aplicar la prueba de Fisher LSD ($P < 0.05$) se encontró diferencia significativa entre el yoghurt con jarabe de agave y ambos yoghurts con sacarosa. En el caso del yoghurt con jarabe de agave e inulina se encontró que su IG presenta diferencia con el del yoghurt con sacarosa e inulina, mientras que al comparársele con el IG del yoghurt con sacarosa aunque no hay diferencia significativa, se mantiene la tendencia en la disminución de este parámetro.

Cabe mencionar que el uso de jarabe de agave podría presentar ventajas no únicamente al sustituir a la sacarosa en la elaboración de yoghurt, sino también respecto al empleo de edulcorantes artificiales como el acesulfame K y la Splenda, ya que de acuerdo a lo reportado por Foster-Powell *et al.* en 2002 los yoghurts de frutas bajos en grasa edulcorados con estos productos presentan un IG de 24 ± 1 (media \pm S.E.M) que es un valor similar al obtenido para el yoghurt natural edulcorado con sacarosa, pero superior al de los obtenidos para los yoghurts naturales con jarabe de agave.

Durante la determinación del IG de los yoghurts evaluados en este protocolo se observó que estos productos lácteos reducidos en grasa son de bajo índice glucémico, ya que tienen menos de 55 U.I. por lo cual pueden ser incorporados a la dieta de personas con problemas en el metabolismo de carbohidratos, ya que se sabe que dietas de bajo IG disminuyen los niveles de HbA1c en 0.4% comparadas con dietas de mayor IG (Gilbertson *et al.*, 2001) o altas en fibra de cereales (Jenkins *et al.*, 2008). Este decremento es clínicamente significativo y es comparable con la

disminución lograda a través de medicación para diabetes tipo 2 recientemente diagnosticada (Holman *et al.*, 1999; UKPDS, 1995). El Departamento de Salud de los Estados Unidos indica que esta reducción clínicamente significativa y mejoras de este tamaño han sido asociadas con una reducción en el riesgo de complicaciones microvasculares (Stratton *et al.*, 2000). Se ha reportado que dietas de bajo IG también han sido causantes de mayores pérdidas de peso en personas con sobrepeso y obesidad comparado con dietas control, así como de mejorar el perfil de lípidos. Las dietas de bajo IG resultan en significantes disminuciones en la masa corporal, masa grasa total, IMC, colesterol total y Colesterol LDL comparado con dietas control (Thomas y Elliot, 2007).

XI. CONCLUSIÓN

La sustitución de sacarosa por jarabe de agave estándar en la elaboración de yoghurt reduce el IG de este alimento. Aunque la adición de inulina incrementa ligeramente el IG del yoghurt (manteniéndose como alimento de bajo IG) al combinar el jarabe de agave estándar y la inulina se obtiene un producto que tiene una respuesta glucémica postprandial similar a la provocada por el uso de la sacarosa como edulcorante, pero que mantiene una tendencia a la disminución del IG. Lo anterior pudiese interpretarse como una desventaja resultante de la adición de inulina al yoghurt, sin embargo se sabe que esta fibra provoca efectos fisiológicos benéficos a la salud, por la mejora en metabolismo de carbohidratos y salud colónica entre otros beneficios que presentan los individuos que la incorporan a su dieta.

De tal manera que el uso de jarabe de agave e inulina en la formulación de lácteos fermentados, es recomendada en este trabajo para mejorar el control glucémico de personas con complicaciones relacionadas a la hiperglucemia o a aquellas inmersas en la cultura de los alimentos funcionales.

XII. PERSPECTIVAS

Se ha documentado que la ingesta de fructanos de agave estimulan la secreción de GLP-1 en ratas (Urías-Silvas *et al.*, 2008) y debido a los beneficios que presenta este péptido sobre el metabolismo de la glucosa (Delzenne *et al.*, 2007) se propone determinar si la ingesta de fructanos de agave estimula las concentraciones de GLP-1 a nivel portal en sujetos sanos. Para lo cual se reunirá a un grupo de voluntarios que serán instruidos a incorporar la inulina de agave a su dieta diaria por 3 semanas. De tal manera que se puedan cuantificar en los voluntarios las concentraciones de GLP-1 a nivel portal antes y después del tratamiento con inulina.

Los resultados a obtener podrían ayudar a elucidar el papel que juegan los fructanos de agave en el tratamiento de complicaciones relacionadas a la hiperglucemia, obesidad y desarrollo de masa grasa.

XIII. ANEXO 1

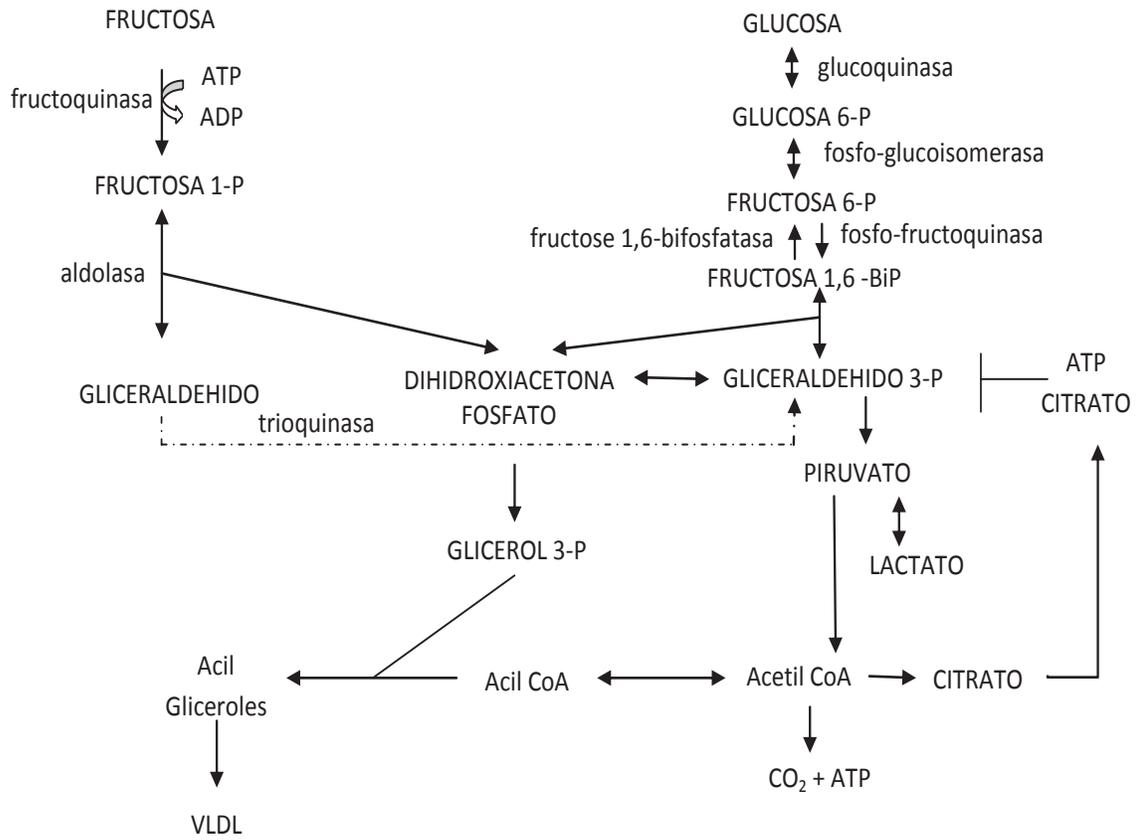


Figura 10.-.- Metabolismo hepático de la glucosa y fructosa (Tran *et al.*, 2009)

XIV. ANEXO 2



Bogotá, Colombia, Junio 15 de 2010

Doctores
Mendoza-Méndez S
Peñaloza- Hernández F
Sosa-Aguirre CR
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo
Morelia, México

Apreciados Doctores:

Agradecemos el interés demostrado por Ustedes al poner en consideración del Comité Científico su trabajo " INFLUENCIA DE LA CONCENTRACIÓN DE FRUCTOSA EN EL ÍNDICE GLUCÉMICO DEL JARABE DE AGAVE " para participar en el 10° Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos ACTA en simultánea con el XVI Seminario Latinoamericano de Ciencia y Tecnología de Alimentos ALACCTA y el 2° Simposio Latinoamericano de Inocuidad de Alimentos IAFP.

Nos es muy grato comunicarles que con base en su resumen, el Comité ha considerado que su trabajo de investigación es **ACEPTADO** para participar en la sesión de poster.

En nuestra página web <http://www.acta.org.co/Congreso%20Convocatoria.php> encontrará la información necesaria para la presentación de su trabajo de investigación en la sesión de posters, más específicamente en el siguiente enlace:
<http://acta.org.co/Pdf/Congreso2010/Requisitos%20Presentacion%20Posters.pdf>

Les destacamos que para presentar su trabajo durante el evento, debe estar inscrito por lo menos uno de los autores en el congreso, por lo que si no lo han hecho, les recordamos que pueden aprovechar el descuento que hay, para quienes se inscriban y cancelen antes del 30 de Julio.

Finalmente, si desean pueden enviar a sextopremio@acta.org.co copia del poster en pdf. Si tienen alguna duda, o decidieran no participar en la sesión de poster, les rogamos el favor de comunicarse con nosotros al correo arriba mencionado.

Reciban un cordial saludo,

Dr. Jorge Cabrera
Director Premios ACTA

Ing. Carolina Cárdenas
Coordinadora Premios ACTA



www.acta.org.co - Email acta@acta.org.co - Bogotá D.C., Colombia

Figura 11.- Aceptación de trabajo en XVI Seminario Latinoamericano de Ciencia y Tecnología de Alimentos

XV. REFERENCIAS

- Aguirre, P.C., J. Galgani F., E. Díaz B. 2006. **Determinación del índice glicémico del alimento NUTRIDIABETIC® destinado a diabéticos tipo 2.** http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S071775182006000100002&script=sci_arttext. (Accesada en Noviembre 2007)
- Anónimo. s.f. **Índice de masa corporal y Diabetes Mellitus.** <http://www.issste.gob.mx/aconseja/indice.html> (Accesada en julio 2008).
- Anónimo. 1995. **United Kingdom Prospective Diabetes Study Group, UKPDS 13: relative efficacy of randomly allocated diet, sulphonylurea, insulin or metformin in patients with newly diagnosed non-insulin dependent diabetes followed for three years.** *BMJ*. 310: 83–88.
- AOAC. 1990. **Official Methods of Analysis**, 15 th. Ed., Association Official Analytical Chemists, Arlington. (Vir).
- Bell, G.I., Santerre, R.F., Mullenbach, G.T. 1983. **Hamster preproglucagon contains the sequence of glucagon and two related peptides.** *Nature*. 302: 716-718.
- Brand-Miller, J. s.f. Glycemic index. <http://www.glycemicindex.com/> (Accesada en junio 2008).
- Brand-Miller, J., Foster-Powell, K. y Colagiuri, S. 2002. **The New Glucose Revolution** (revised edition). Sydney: Hodder Hooder Headline publishers.
- Burcelin R. 2005. **The incretins: a link between nutrients and well-being.** *Br J Nutr*. 93: Suppl 1:S147–56.
- Busserolles J, Gueux E, Rock E, Demigné C, Mazur A, Rayssiguier Y. 2003. **Oligofructose protects against the hypertriglyceridemic and pro oxidative effects of a high fructose diet in rats.** *J Nutr.*, 133:1903–8.
- Cani, P.D., Dewever, C, Delzenne, NM. 2004. **Inulin-type fructans modulate gastrointestinal peptides involved in appetite regulation (glucagon-like peptide-1 and ghrelin) in rats.** *Br J Nutr*. 92:521–6.
- Cani, P.D., Daubioul, C.A., Reusens, B., Remacle, C., Catillon, G., y Delzenne, N.M. 2005a. **Involvement of endogenous glucagon-like peptide-1(7–36) amide on glycaemia-lowering effect of oligofructose in streptozotocin-treated rats.** *Journal of Endocrinology*. 185, 457–465.

- Cani, P.D., Neyrinck, A.M., Maton, N., Delzenne, N.M. 2005b. **Oligofructose promotes satiety in rats fed a high-fat diet: involvement of glucagon-like peptide-1.** *Obes Res.* 13:1000–1007.
- Cani, P.D., Delzenne, N.M. 2007. **Gut microbiota as a target for energy and metabolic homeostasis.** *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 10(6):729-734.
- Cummings, J.H. y Macfarlane, G.T. 1997. **Colonic microflora: nutrition and health.** *Nutrition.* 13:476-478.
- Daubioul, C.A., Hormans, Y., Lambert, P., Danse, E., Delzenne, N.M. 2005. **Effects of oligofructose on glucose and lipid metabolism in patients with nonalcoholic steatohepatitis: results of a pilot study.** *Eur J Clin Nutr.* 59(5):723-6.
- Delzenne, N.M. 2003. **Oligosaccharides: state of the art.** *Proceedings of the Nutrition Society.* 62:177–182.
- Delzenne, N.M. Cani, P.D. 2005. **A place for dietary fibre in the management of the metabolic syndrome.** *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 8(6):636-40.
- Delzenne, N.M., Cani, P.D. y Neyrinck, A.M. 2007. **Modulation of Glucagon-like Peptide 1 and Energy Metabolism by Inulin and Oligofructose: Experimental Data.** *The Journal of Nutrition.* 2547S-2551S.
- Diplock, A.T., P.J. Aggett, M. Ashwell, F. Bornet, E.B. Fern, M.B. Roberfroid. 1999. **Scientific concepts of functional foods in Europe: consensus document.** *British Journal of Nutrition.* 81(1):S1-S28.
- Drucker, D.J. 2002. **Gut adaptation and the glucagon-like peptides.** *Gut.* 50:428–35.
- Instituto Nacional de Salud Pública. 2006. **Encuesta Nacional de Salud y Nutrición.**
- Englyst, K.N., Englyst, H.N. 2005. **Carbohydrate bioavailability.** *British Journal of Nutrition.* 94:1–11.
- Fabian, E., Majchrzak, D., Dieminger, B., Meyer, E., Elmadfa, I. 2008. **Influence of probiotic and conventional yoghurt on the status of vitamins B1, B2 and B6 in young health y women.** *Annals of Nutrition and Metabolism.* 52(1):29-36.
- Foster-Powell, K., Holt, S., Brand-Miller, J. 2002. **International tables of glycemic index and glycemic load.** *American Journal of Clinical Nutrition.* 76:5-56.

- Gilbertson HR, Brand-Miller JC, Thorburn AW, et al. 2001. **The effect of flexible low glycemic index dietary advice versus measured carbohydrate exchange diets on glycemic control in children with type 1 diabetes.** Diabetes Care. 24: 1137–1143.
- Grandfelt, Y., X. Wu, I. Björck. 2006. **Determination of glycemic index; some methodological aspects related to the analysis of carbohydrate load and characteristics of the previous evening meal.** European Journal of clinical nutrition. 60: 104-112.
- Havel, P.J. 2005. **Dietary fructose: implications for dysregulation of energy homeostasis and lipid/carbohydrate metabolism.** Nutrition Reviews. 63:133–157.
- Hayes, M., Stanton, C., Fitzgerald, G.F., Ross, R.P. 2007. **Putting microbes to work: dairy fermentation, cell factories and bioactive peptides. Part II: bioactive peptide functions.** Biotechnology Journal. 2(4):435-49.
- Hodge, A.M., English, D.R., O’Dea, K., Giles, G.G. 2004. **Glycemic index and dietary fiber and the risk of type 2 diabetes.** Diabetes care. 27(11): 2701-2706.
- Holman, R.R., Cull, C.A., Turner, R.C. 1999. **A randomized double-blind trial of acarbose in type 2 diabetes shows improved glycemic control over 3 years (U.K. Prospective Diabetes Study 44).** Diabetes Care. 22: 960–964.
- Jenkins, D.J.A., D.M., Wolever, T.M.S., Taylor, R.H., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J.M., Bowling, A.C., Newman. H.C., Alexandra L. Jenkins, A.L. and Goff, D.V. 1981. **Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange.** The American Journal of Clinical Nutrition. 34: 362-366.
- Jenkins, D.J.A., Kendall, C.W., Vuksan, V., Augustin, L.S., Li, Y.M., Lee, B., Mehling, C.C., Parker, T., Faulkner, D., Seyler, H., Vidgen, E., Fulgoni, V. 1999. **The effect of wheat bran particle size on laxation and colonic fermentation.** Journal of American College of Nutrition. 18 (4): 339–345.
- Jenkins, D.J.A., Kendall, C.W. y McKeown-Eyssen, G. 2008. **Effect of a low-glycemic index or a high-cereal fiber diet on type 2 diabetes: a randomized trial.** Journal of the American Medical Association. 300: 2742–2753.
- Joint FAO/WHO Report. 1997. **Carbohydrates in human Nutrition.** FAO food and nutrition, paper 66.

- López, M.G., Mancilla-Margalli, N.A., Mendoza-Díaz, G. 2003. **Molecular structures of fructans from Agave tequilana Weber var. azul.** Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51(27): 7835-7840.
- Macfarlane, G.T., Cummings, J.H. 1999. **Probiotics and prebiotics: can regulating the activities of intestinal bacteria benefit health?** British Medical Journal. 318:999-1003.
- Madrigal, L., Sangronis, E. 2007. **La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales.** Archivos latinoamericanos de nutrición. 57(4): 387-396.
- Mayes, P.A. 1993. **Intermediary metabolism of fructose.** American Journal of Clinical Nutrition. 58:754S-765S.
- Miller, C.J., Dunn, E.V., Hashim, I.B. 2003. **The glycaemic index of dates and date/yoghurt mixed meals. Are dates 'the candy that grows on trees?'** European Journal of Clinical Nutrition. 57: 427-430.
- Nuttall, F.Q. 1993. **Dietary fibre in the management of diabetes.** Diabetes Review. 42:503-508.
- Orskov, C., Bersani, M., Johnsen, A.H., Hojrup, P., Holst, J.J. 1989. **Complete sequences of glucagon-like peptide-1 from human and pig small intestine.** The Journal of Biological Chemistry. 264:12826 -12829.
- Piche, T., des Varannes, S.B., Sacher-Huvelin, S., Holst, J.J., Cuber, J.C., Galmiche, J.P. 2003. **Colonic fermentation influences lower esophageal sphincter function in gastroesophageal reflux disease.** Gastroenterology. 124:894-902.
- Roberfroid, M., Delzenne, N. 1998. **Dietary fructans.** Annual Review of Nutrition. 18:117-143.
- Roberfroid, M.B. 2007. **Inulin-type fructans: Functional ingredients.** The journal of nutrition. 2493S-2502S.
- Rowland, I.R. 1988. **Interactions of the gut microflora and the host in toxicology.** Toxicologic Pathology. 16: 147-153.
- Rutledge, A.C. y Adeli, K. 2007. **Fructose and the metabolic syndrome: pathophysiology and molecular mechanisms.** Nutrition Reviews. 65:S13-S23.

- Sheard, N.F., N.G. Clark, J.C. Brand-Miller, M.J. Franz, F.X. Pi-Sunyer, E. Mayer-Davis, K. Kulkarni, P. Geil. 2004. **Dietary carbohydrates (Amount and type) in the prevention and management of diabetes.** *Diabetes care.* 27(9):2226-2271.
- Stratton, I.M., Adler, Al., Neil, A.W., Matthews, D.R., Manley, S.D., Cull, C.A. Hadden, D., Turner, R.C., Holman, R.R. 2000. **Association of glycaemia with macrovascular and microvascular complications of type 2 diabetes (UKPDS 35): prospective observational study.** *British Medical Journal.* 321: 405–412.
- Tamine, A.Y. 2002. **Fermented milk: a historical food with modern applications – a review.** *European Journal of Clinical Nutrition.* 56(4): S2–S15.
- Thomas, D.E. y Elliot, D.J. 2010. **The use of low-glycaemic index diets in diabetes control.** *British Journal of Nutrition.* 27:1-6.
- Tran, L.T., Yuen, V.G., McNeill, J.H. 2009. **The fructose-fed rat: a review on the mechanisms of fructose-induced insulin resistance and hypertension.** *Molecular and Cellular Biochemistry.* 332:145–159.
- Urías-Silvas, J.E., Cani, P.D., Delmée, E., Neyrinck, A., López, M.G., Delzenne, N.M. 2008. **Physiological effects of dietary fructans extracted from Agave tequilana Gto. and Dasyilirion spp.** *British Journal of Nutrition.* 99: 254–261.
- Uusitupa, M.I.J. 1994. **Fructose in the diabetic diet.** *American journal of clinical nutrition.* 59:753S-757S.
- United Kingdom Prospective Diabetes Study Group. 1995. **UKPDS 13: relative efficacy of randomly allocated diet, sulphonylurea, insulin or metformin in patients with newly diagnosed non-insulin dependent diabetes followed for three years.** *British Medical Journal.* 310: 83–88.
- Venn, B.J. and Green, T.J. 2007. **Glycemic index and glycemic load: measurement issues and their effect on diet-disease relationships.** *European Journal of clinical nutrition.* 61(1): S122-S131.
- WHO/IDF report. 2006. **Definition and diagnosis of diabetes mellitus and intermediate hyperglycaemia.** World Health Organization. Switzerland.
- Willet, W., Manson, J., Liu, S. 2002. **Glycemic index and glycemic load and the risk of type 2 diabetes.** *American Journal of Clinical Nutrition.* 76:274S-280S.

Wolever, T.M.S., Vorster, H.H., Björck, I., Brand-Miller, J., Brighenti, F., Mann, J.I., Ramdath, D.D., Grandfeldt, Y., Holt, S., Perry, T.L., Venter, C., Wu, X. 2003. **Determination of glycaemic index in foods: interlaboratory study.** European Journal of clinical nutrition, 57: 475-48.

Wolever, T.M.S., Brand-Miller, J.C., Abernethy, J., Astrup, A., Atkinson, F., Axelsen, M., Björck, I., Brighenti, F., Brown, R., Brynes, A., Casiraghi, M.C., Cazaubiel, M., Dahlqvist, L., Delport, E., Denyer, G.S., Erba, D., Frost, G., Grandfeldt, Y., Hampton, S., Hart, V.A., Hästönen, K.A., Henry, C.J., Hertzler, S., Hull, S., Jerling, J., Johnston, K.L., Lightowler, H., Mann, N., Morgan, L., Panlasigui, L.N., Pelkman, C., Perry, T., Pfeiffer, A.F.H., Pieters, M., Ramdath, D.D., Ramsingh, R.T., Robert, S.D., Robinson, C., Sarkkinen, E., Scazzina, F., Sison, D.C.D., Sloth, B., Staniforth, J., Tapola, N., Valsta, L.M., Verkooijen, I., Weickert, M.O., Weseler, A.R., Wilkie, P., and Zhang, J. 2008. **Measuring the glycemic index of foods: interlaboratory study.** American Journal of Clinical Nutrition. 87:247S–257S.