

GLÚCIDOS Y EDULCORANTES ARTIFICIALES COMO CONTAMINANTES EN LA DIETA. UN ESTUDIO DE CASO PARA EL PROGRAMA DE APOYO A PROYECTOS PARA LA INNOVACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA ENSEÑANZA DE LA UNAM

GLUCIDS and ARTIFICIAL SWEETENERS AS POLLUTANTS IN THE DIET. A CASE OF STUDY FOR THE PROGRAM FOR SUPPORT TO PROJECTS FOR INNOVATION AND IMPROVEMENT OF TEACHING AT UNAM

Samuel Mendoza-Pérez¹, Rolando S. García-Gómez¹ y María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa^{1*}

¹Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito de la Investigación Científica s/n, Ciudad Universitaria, CdMx, 04510 México.

e-mail: mcduran@unam.mx

Resumen:

Al término de la segunda guerra mundial se dio una enorme industrialización ligada a la producción de alimentos semicocinados y cocinados que permitieran invertir menos tiempo en la preparación de las comidas diarias. Esta industrialización ha ido evolucionando para suministrar alimentos con tiempos en el anaquel cada vez más largos con objeto de que las empresas fabricantes no reduzcan sus ganancias. Para ello, adicionan cada vez más sustancias químicas a esos alimentos y bebidas preparados para que mantengan ciertas propiedades consideradas deseables de textura, color, olor, sabor y, naturalmente, resistencia a la descomposición química y microbiológica. A estas sustancias se les conoce con el nombre de aditivos. Los tradicionalmente conocidos eran el azúcar y la sal, que permitían alargar el tiempo de consumo al impedir que los microorganismos pudieran proliferar en los alimentos y bebidas demeritar su calidad o incluso provocar envenenamientos con las toxinas que producen. Actualmente, ambos productos han sido satanizados para dar preferencia a sustancias sintéticas como agentes conservantes, antioxidantes, espesantes, edulcorantes, colorantes, saborizantes, etc. En este estudio de caso se verá si algunos de estos aditivos son dañinos no solamente para los microorganismos oportunistas sino también para los seres humanos que los ingieren.

Palabras clave: Glúcidos, edulcorantes, mejoramiento educativo.

Abstract:

At the end of the Second World War a huge industrialization came into being linked to the production of precooked or cooked foods to allow a reduction in the preparation time of daily meals. This industrialization has been evolved to supply foods with longer shelf life to allow the companies to obtain of higher revenues. For this purpose, higher and higher amounts of chemical substances are added to prepared foods and beverages to provide them with desirable properties of texture, color, odor, flavor, and naturally, resistance to chemical and microbiological decomposition. These substances are known as additives. Those traditionally known were sugar (sucrose) and salt, that allowed the extension of consumption time by avoiding that microorganisms could proliferate in foods and drinks reducing its quality or even provoking poisoning with its toxins. Presently, both products have been demonized to give preference to synthetic substances as preserving agents, antioxidants, thickeners, sweeteners, colorants, flavorings, etc. In this case study it will be looked upon

some additives that may be harmful not only to opportunistic microorganisms but also to human beings ingesting them.

Keywords: Glucids, sweeteners, teaching improvement.

1. Introducción

El incremento desmedido en el consumo de los edulcorantes calóricos o que aportan energía al organismo como la sacarosa y la fructosa así como los hábitos del sedentarismo, ha tenido un gran impacto en la salud de la población. Con la finalidad de no comprometer el sabor “dulce” de los alimentos se introdujeron los edulcorantes artificiales en nuestra dieta con la intención de reducir la ingesta calórica y la normalización de los niveles de glucosa en sangre. Entre los edulcorantes hipocalóricos de mayor consumo entre la población se incluyen a la sacarina, el aspartame, la sucralosa, el acesulfame de potasio y los glucósidos de steviol (stevia), entre otros. Junto con otros grandes cambios que se produjeron en la nutrición humana, este aumento de la ingesta de los edulcorantes artificiales hipocalóricos y otros de tipo calórico como las mieles fructosadas de maíz parece coincidir con el aumento dramático en el sobrepeso y con el cuadro clínico conocido como síndrome metabólico que involucra la obesidad, la epidemia de diabetes, la hipertensión, la hipercolesterolemia y la hipertrigliceridemia (Suez et al., 2014). Debido a que estos edulcorantes artificiales han sido introducidos en la dieta de toda la sociedad independientemente de su ingreso socioeconómico y desde hace relativamente poco tiempo, todavía existe mucha controversia sobre su uso ya que si bien han sido establecidos los efectos de toxicidad aguda y algunos de los efectos a largo plazo como lo es su potencial carcinogénico, aún no se ha caracterizado por completo cuál es su influencia sobre el apetito, la secreción y regulación hormonal, el balance de energía y el incremento de masa corporal entre otros (Fujita et al., 2008; Martínez et al., 2010; Wu et al., 2012). El aumento en el porcentaje de la población que tiene exceso de masa corporal (sobrepeso) o síndrome metabólico coincide con el aumento generalizado del consumo de edulcorantes diferentes de la sacarosa, ya sea de caña o de remolacha. Estos edulcorantes, calóricos (como las mieles fructosadas de maíz) o hipocalóricos (como los edulcorantes sintéticos), son empleados en la industria alimentaria, tanto para bebidas carbonatadas o refrescos, como para zumos o jugos, bebidas en general, así como en un sinnúmero de productos tradicionales como los panes, la galletería y bollería, los productos lácteos y cárnicos, etc., etc., así como en nuevos productos. Actualmente no se dispone todavía de suficiente evidencia para demostrar si esta relación es coincidencia o existe una verdadera relación causa-efecto entre el consumo de los edulcorantes diferentes al azúcar tanto calóricos como hipocalóricos y la obesidad (Olivier et al., 2015). Sin embargo, algunos estudios señalan que los edulcorantes hipocalóricos afectan el equilibrio energético, aumentan el apetito, aumentan la ingesta energética y ocasionan el incremento de masa corporal (Wang et al., 2016).

Debido a la falta de certeza acerca del impacto que tiene la ingesta de los edulcorantes artificiales es necesario realizar más estudios que esclarezcan estas incógnitas, ya que de no hacerlo, tal vez solamente sean muy notorios los posibles efectos adversos muchas décadas después, cuando ya esté hecho un grave daño a la población humana y al ambiente cosa que, desafortunadamente, ha ocurrido ya en varias ocasiones en la historia de la química (tetraetilo de plomo, éter metiliterbutílico, clorofluorocarburos, por poner solamente los últimos tres tristes ejemplos de la empresa Du Pont de Nemours).

El objetivo general de esta investigación es el de evaluar el efecto de diferentes edulcorantes calóricos e hipocalóricos sobre la liberación de incretinas a corto plazo y las alteraciones metabólicas provocadas por la ingesta crónica de edulcorantes calóricos e hipocalóricos a largo plazo en un modelo animal de laboratorio. Los objetivos particulares son determinar la expresión de genes involucrados en el metabolismo de lípidos como los genes maestros SREBP-1 y el CHREBP y FAS en el tejido hepático (todos por sus siglas en inglés), evaluar los posibles daños en los tejidos de órganos específicos de cada espécimen de los grupos de ratas en estudio por la ingestión ad libitum de forma crónica de edulcorantes calóricos o hipocalóricos, iniciada desde el destete hasta la adultez, en machos y en hembras para determinar las diferencias existentes entre ambos géneros, evaluar la relación entre ganancia en masa corporal e ingestión de edulcorante calórico o hipocalórico para cada espécimen a los 3 y 6 meses de experimentación, evaluar los parámetros bioquímicos de glucosa, insulina, triglicéridos, colesterol y leptina, para cada espécimen a los 3 y los 6 meses de experimentación y evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas en el aumento de masa corporal, así como en los parámetros bioquímicos debido al sexo de los especímenes.

Paralela a esta investigación nutrimental se ha considerado el impacto ambiental de la producción de estos edulcorantes para tomarla de ejemplo para estudios ambientales en cursos universitarios, especialmente para ingenieros químicos. Se darán como ejemplos los casos del azúcar y su derivado clorado, la sucralosa, de las mieles glucosadas y fructosadas, del aspartame y la sacarina y de los rebaudiósidos de la Stevia rebaudiana Bertoni.

2. Contaminación de la atmósfera, el agua y el suelo

2.1. Atmósfera

Los glúcidos y edulcorantes artificiales no son contaminantes directos de la atmósfera, sin embargo, la fabricación industrial de ellos, como prácticamente todo proceso industrial, genera contaminantes atmosféricos. Los glúcidos, desafortunadamente más conocidos como “azúcares”, término que induce al error de considerarlos como si fueran azúcar, son compuestos orgánicos muy abundantes en la naturaleza. Los glúcidos más utilizados como edulcorantes son: la sacarosa o azúcar, la fructosa o glúcido de las frutas y la glucosa. En la fabricación del azúcar o sacarosa están implicadas (a grandes rasgos) las siguientes etapas: cultivo de la caña, cosecha de la caña de azúcar, molienda, clarificación del jugo, concentración por evaporación para promover la cristalización del azúcar por evaporación, la cristalización, la separación de los cristales de azúcar por centrifugación, el secado de los cristales de azúcar, el envasado, su almacenamiento y el transporte. La Figura 1 ilustra este proceso. Las etapas que tienen un impacto sobre la atmósfera son la del cultivo debido a que, como en todo monocultivo, las plantaciones azucareras desplazan la vegetación natural que, en algunos casos pueden ser bosques u otros ecosistemas ricos en masa vegetal. Esto trae como consecuencia una menor absorción del CO₂ atmosférico. Tan solo en México, la superficie dedicada al cultivo de la caña de azúcar es de 703,761 hectáreas, para el año de 2012 (SAGARPA, 2012). De igual manera, otro punto relevante que tiene un impacto en la atmósfera es la zafra, nombre dado a las tareas relacionadas con la cosecha, transporte y procesamiento de la caña de azúcar. En ella, los jornaleros con la finalidad de facilitar su trabajo y evitar la mordedura de víboras y otras alimañas realiza la práctica de la quema del cañaveral antes y/o después de la cosecha. La combustión del material vegetal contamina la atmósfera con elevadas emisiones de gases y hollín; provoca diversos problemas de salud en la población; favorece las pérdidas de carbono y nitrógeno del suelo

por volatilización y genera dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero. Asimismo, ya en el proceso señalado arriba se contribuye a la contaminación del aire por la utilización de bagazo y/o combustóleo como combustibles en el proceso, ya que la gran mayoría de los ingenios azucareros carecen del equipo para el control de emisiones (SEMARNAT, 2009).

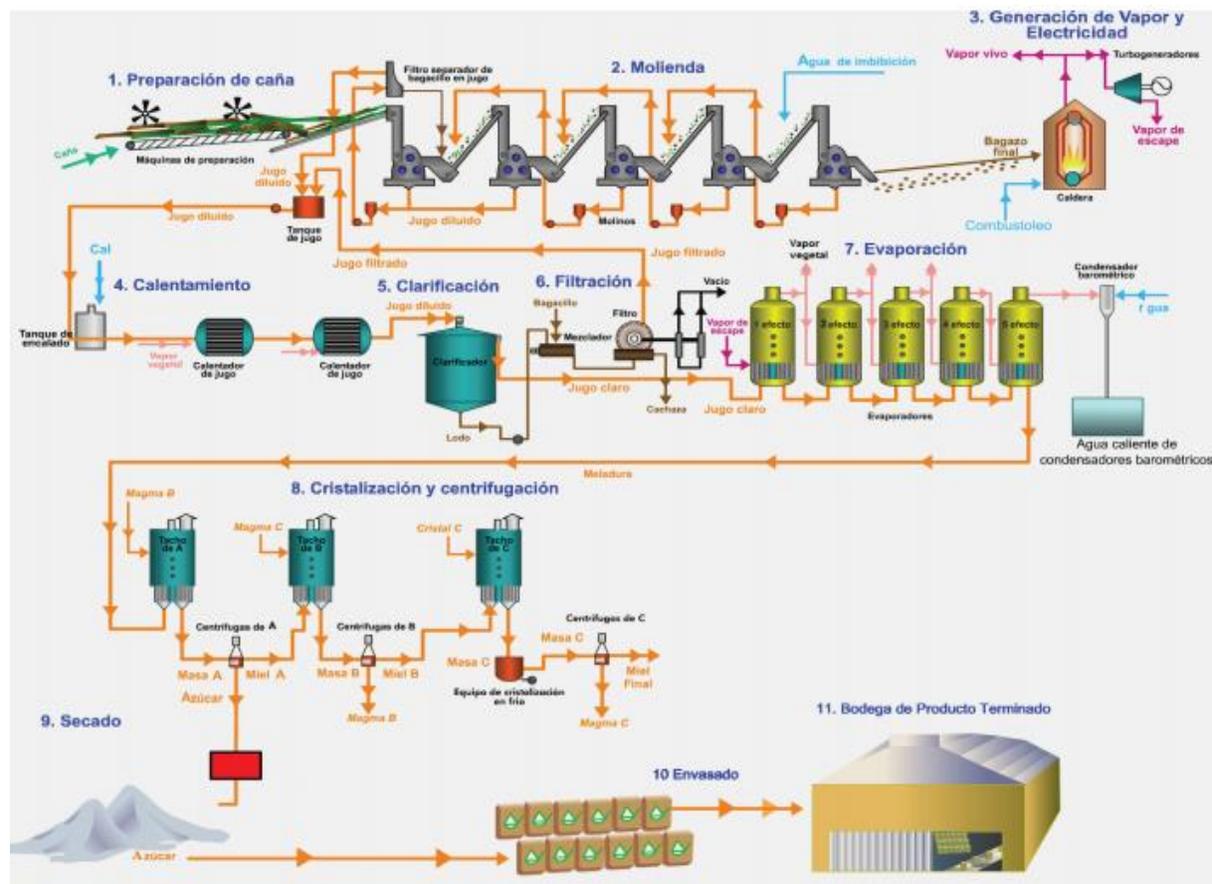


Figura 1. Diagrama de flujo de la elaboración de azúcar de caña (sacarosa) (Domínguez-Manjarrez et al., 2014)

La glucosa (jarabes glucosados), por otra parte, es producida a partir del almidón obtenido de los granos de maíz o de sorgo. Tan solo en Estados Unidos, el 90% del almidón producido es destinado a la producción de edulcorantes (jarabes glucosados o jarabes fructosados). Las soluciones de almidón son sometidas a una hidrólisis química o enzimática para liberar los monosacáridos, esto es, la glucosa. Esto se lleva a cabo en reactores que contienen enzimas como la α -amilasa encargada de romper los enlaces α -1,4 del almidón generando dextrinas y estas, posteriormente, son tratadas con enzimas del tipo de la amiloglucosidasa encargada de hidrolizar los enlaces 1,4 y 1,6 del almidón para generar finalmente los jarabes ricos en glucosa. La Figura 2 ejemplifica el proceso descrito anteriormente. Al igual que con la elaboración de la sacarosa, la producción de jarabes glucosados trae como consecuencia la destrucción de grandes cantidades de masa vegetal, en favor de los monocultivos de maíz o de sorgo, con la consecuente disminución de la absorción del CO_2 , un gas de efecto invernadero. La producción de jarabes fructosados no dista demasiado a grosso modo del proceso anteriormente descrito, solamente implica un paso más en donde se emplea la enzima glucosa isomerasa y magnesio (como cofactor)

encargada de la interconversión de glucosa a fructosa (Hanover y White, 1993). Las implicaciones sobre la atmósfera son prácticamente las mismas que para la producción de la glucosa, solamente que se consumen más combustibles para generar la energía necesaria para los pasos adicionales.

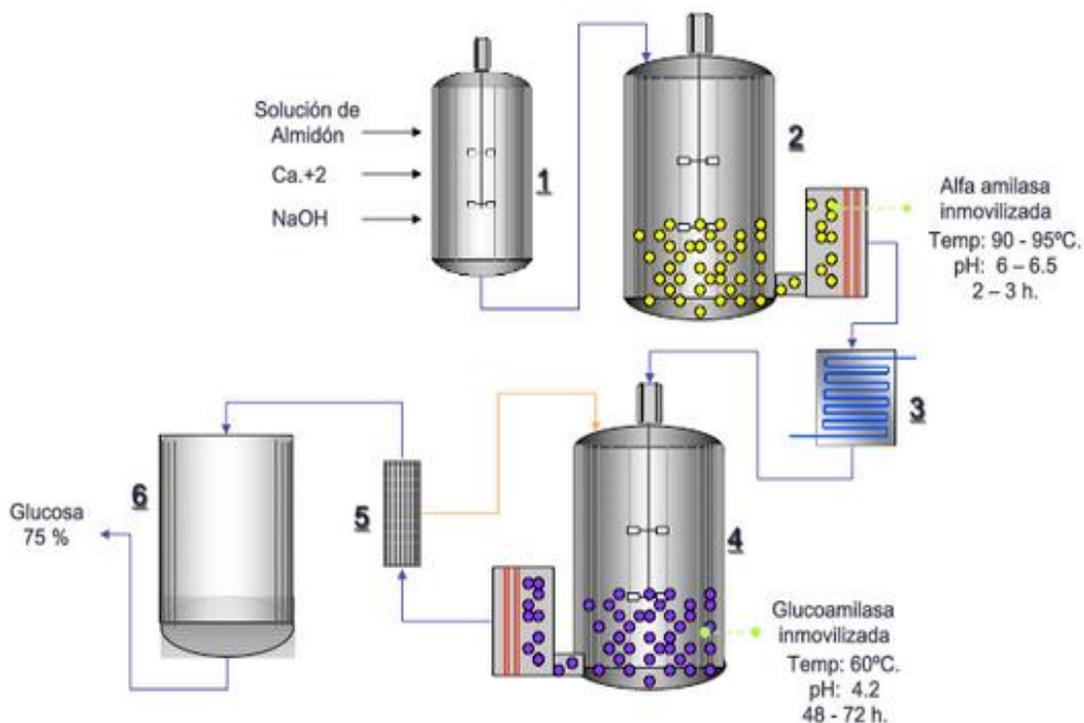


Figura 2. Producción de jarabes glucosados. 1: Tanque de mezcla. 2: Reactor de tanque agitado y recuperación por filtración. 3: Intercambiador de calor. 4: Reactor de tanque agitado y recuperación por filtración. 5: Ultrafiltración. 6: Evaporador (UNAD, 2015)

Respecto de los llamados edulcorantes artificiales hipocalóricos, la sucralosa es fabricada mediante la cloración selectiva de la sacarosa. Existen dos rutas para la síntesis de la sucralosa. La primera ruta de síntesis consiste en: Tritilación, acetilación, detritilación, isomerización, cloración y desacetilación (Figura 3). La segunda ruta de síntesis consiste en la acilación, cloración y desacilación. Las Figuras 3 y 4 ilustran estas dos rutas de síntesis de la sucralosa (Gutiérrez-Moreno y Carro-Suárez, 2009). Como se aprecia en las dos vías de síntesis al ser necesaria la cloración, este paso debe llevarse a cabo con especial cuidado, ya que debe recordarse que algunas especies cloradas son altamente reactivas en la atmósfera, como los clorofluorocarburos. Aún no se dispone de suficiente información para saber si estos agentes clorantes empleados representan una fuente significativa de contaminación atmosférica.

Así como los jarabes fructosados, la síntesis de aspartame implica un gran desarrollo biotecnológico. Anteriormente se sintetizaba por vía química, mediante la condensación del ácido *N*-benziloxycarbonil(β -benzil)-*L*-aspártico y el éster metílico de la fenilalanina.

Actualmente el método más empleado es el método enzimático. Para la creación de este di-péptido se emplean las endoproteasas de diferentes microorganismos, como por ejemplo *Bacillus thermoproteolyticus* (García-Garibay et al, 1993). Con respecto del impacto atmosférico éste es menor que el de los edulcorantes descritos anteriormente, ya que no hay grandes monocultivos, no se queman en la cosecha y no hay necesidad de usar cloro.

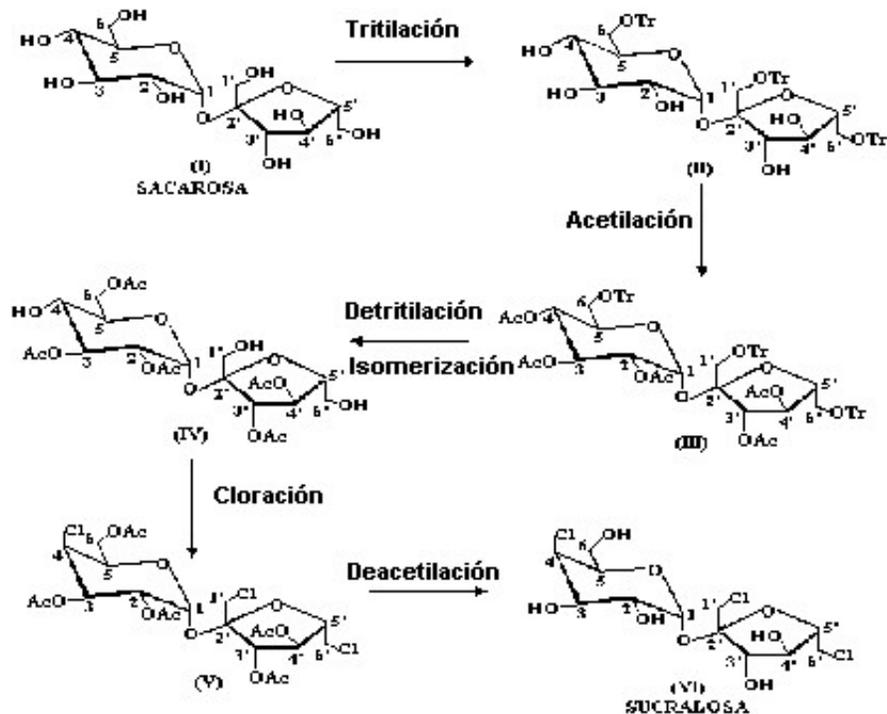


Figura 3. Primera ruta sintética para la obtención de la sucralosa (Gutiérrez-Moreno y Carro-Suarez, 2009)

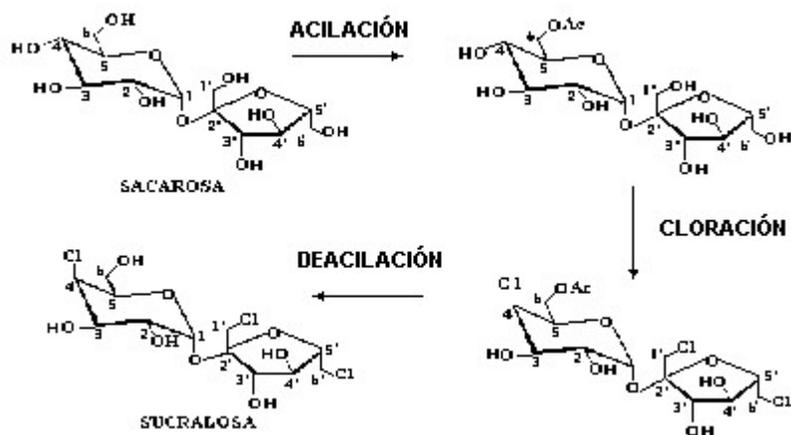


Figura 4. Segunda ruta de síntesis de sucralosa (Gutiérrez-Moreno y Carro-Suárez, 2009)

Por el contrario la sacarina solamente puede ser obtenida mediante síntesis química a partir del tolueno u otros derivados del petróleo (ECURED, 2012). La Figura 5 ilustra una de las

posibles rutas de su síntesis. Como puede verse para la síntesis de este edulcorante se usan hidrocarburos, que son contaminantes de la atmósfera como lo es el tolueno. Así mismo se emplea amoníaco. Por todo ello deben tenerse sistemas adecuados para la recolección de estos compuestos durante la síntesis para evitar que sean liberados a la atmósfera.

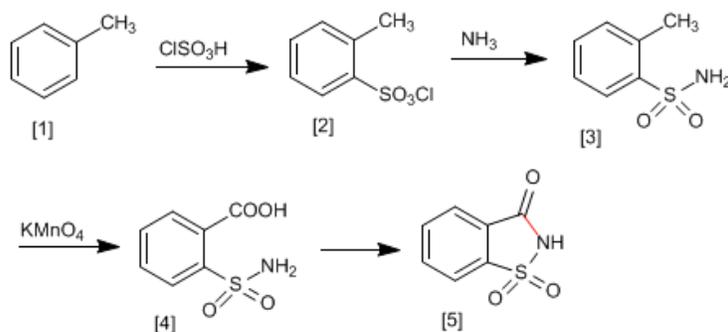


Figura 5. Síntesis de sacarina a partir de tolueno (ECURED, 2012)

La stevia se obtiene de un arbusto (*Stevia rebaudiana* Bertoni) cuyas hojas producen extractos que son hasta 300 veces más dulces que el azúcar. El esteviósido y el rebaudiósido son dos de los glucósidos dulces en las hojas del arbusto. El esteviósido consiste de una molécula de esteviol en la cual el átomo de hidrógeno inferior se sustituye con una molécula de beta-D-glucosa, y el hidrógeno superior se sustituye con dos moléculas de beta-D-glucosa (Lorenzo et al., 2014) como se aprecia en la Figura 6. Al igual que la sacarosa, la glucosa y la fructosa, la principal problemática atmosférica de estos edulcorantes es la destrucción de biomasa vegetal en pos de cultivar a este arbusto. Tan solo en 2009 Brasil tenía aproximadamente mil 200 hectáreas de stevia; Paraguay, dos mil y China, 25 mil hectáreas. Esto es preocupante, sobre todo en Brasil ya que se cultiva en regiones de la selva amazónica, y de continuar en alza su demanda esto implicaría la destrucción de más y más hectáreas de la selva afectando globalmente al planeta. Como puede verse, los daños atmosféricos causados por los edulcorantes a la atmósfera de forma indirecta debido a sus procesos de obtención se dividen en dos grupos: 1) aquellos en los que son necesarios grandes cultivos como: sacarosa, glucosa, fructosa y stevia, 2) aquellos que posiblemente contaminen debido a los reactivos empleados en su síntesis: sucralosa, aspartame, sacarina, etc.

2.2. Agua

Los glúcidos y edulcorantes artificiales no son contaminantes directos de la hidrosfera. Sin embargo, la fabricación industrial de ellos, como en todo proceso industrial, genera contaminantes que van a dar al agua. Como se mencionó anteriormente los glúcidos y edulcorantes artificiales, pueden ser clasificados en dos grandes grupos, de acuerdo con el método de producción. El primer grupo lo conforman aquellos glúcidos y edulcorantes, que requieren de cultivos para su producción, en este grupo se incluye la sacarosa, la glucosa, la fructosa, la sucralosa por el uso de la sacarosa como materia prima y la stevia. El segundo grupo comprende a aquellos edulcorantes que son obtenidos mediante síntesis química o bioquímica. En este grupo está nuevamente la sucralosa ya que necesita de reacciones químicas para ser clorada, la sacarina, el aspartame, el acesulfame de potasio, la stevia, que también requiere de procesos específicos de extracción, etc.

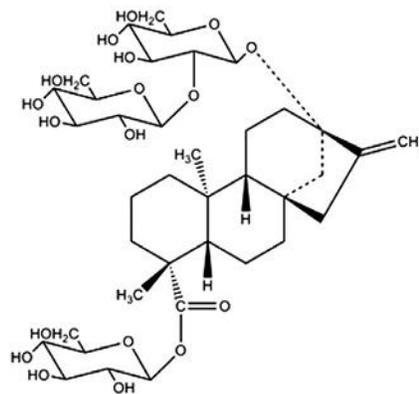


Figura 6. Estructura del steviósido (Lorenzo et al., 2014)

El primer grupo debido a que son necesarias técnicas agrícolas para su obtención, tiene un impacto severo en la hidrosfera. Debe recordarse que el mayor uso que se le da al agua son precisamente las actividades agrícolas, cerca del 80% del agua dulce disponible. Según estadísticas del 2011, en México el 77% del agua dulce es destinado para actividades agrícolas (CONAGUA, 2011). De acuerdo con la FAO, entre el 2008-2012 el uso del agua para las actividades agrícolas fue 61.58×10^9 m³ de agua /año. (FAO-AQUASTAT, 2015). Además del gran uso del agua que implican estos cultivos, debe recordarse el extenso uso de plaguicidas en la agricultura, una proporción considerable de ellos son considerados altamente peligrosos, incluso a niveles muy bajos de exposición o son muy persistentes en el ambiente o en los organismos. (FAO, 2015a). En particular, en los países en vías de desarrollo (por ejemplo, México), los plaguicidas altamente peligrosos (PAP) pueden plantear riesgos significativos para la salud humana o el ambiente, ya que las medidas de reducción del riesgo, como el uso de equipos de protección personal o de mantenimiento y calibración de los equipos de aplicación de plaguicidas no se implementan con facilidad o no son efectivos. Es por ello que organizaciones internacionales como la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) ha creado directrices para el manejo de los plaguicidas, como lo es el “Código internacional de conducta para el manejo de plaguicidas”. Este código constituye el marco de referencia sobre manejo de plaguicidas para todas las entidades públicas y privadas comprometidas en, o asociadas con, la producción, la regulación y el manejo de plaguicidas (FAO, 2015b). El código ofrece estándares de conducta y sirve como punto de referencia en relación con las prácticas de manejo seguro del ciclo de vida de los plaguicidas, en particular, para las autoridades gubernamentales y las industrias agrícolas y de plaguicidas. Desafortunadamente estas directrices no son seguidas en todos los países, causando un enorme daño ambiental y sanitario. En el caso específico de la elaboración de sacarosa, la industria azucarera utiliza grandes cantidades de agua, sobre todo para la producción de vapor. También incluye el lavado del carbón animal y carbón activo, suministro de agua a las calderas, soluciones del proceso, lavado de los filtros, para el intercambio de iones en el enfriamiento sin contacto, agua para compensar las pérdidas en la alimentación de la caldera y agua para el lavado de los pisos. Estas grandes cantidades de agua utilizada deben ser tratadas para evitar la contaminación de ríos o arroyos cercanos a la industria.

De manera similar para la elaboración de los jarabes glucosados y fructosados, se requiere una enorme cantidad de agua, por ejemplo para alimentar las calderas que calentarán los reactores donde ocurren las reacciones de hidrólisis de almidón. Por ejemplo, la reacción

enzimática de la alfa amilasa se da a 90-95°C, después se necesita agua para el intercambiador de calor, ya que la siguiente reacción con la glucoamilasa tiene lugar a los 60°C y es necesario disminuir la temperatura. Estas aguas residuales son ricas en compuestos orgánicos, tienen un pH alcalino y salen a una elevada temperatura. Debe también recordarse que se da una hidrólisis alcalina y se lleva a altas temperaturas, por lo cual esta agua deberá ser tratada para reducir esa cantidad de sólidos, ser neutralizada, y se debe enfriar antes de ser vertida a los sistemas de alcantarillado de las ciudades, las cuales en caso de encontrarse en México deberían cumplir con las especificaciones indicadas en la NOM-002-SEMARNAT-1996 (DOF, 1996).

En cuanto al segundo grupo de edulcorantes, aquellos que necesitan de procedimientos químicos para su obtención, las consideraciones en el uso y contaminación del agua son similares a los ya expuestos anteriormente para la obtención de jarabes glucosados y fructosados. Se deben tener algunas consideraciones especiales en ciertos casos como es el de la síntesis de la sucralosa, ya que como se observa en las Figuras 3 y 4, existe un paso en la síntesis que consiste en la cloración de la molécula, por lo que deberá tenerse especial cuidado, ya que al ser aguas ricas en materia orgánica, podrían reaccionar con los desechos de cloro del proceso de cloración para formar cloraminas y otros muchos compuestos tóxicos derivados del cloro. Estos compuestos tóxicos se irían en las aguas de desecho, por lo que en su tratamiento deben prestarse mucha atención.

Para el caso de la síntesis de la sacarina, los pasos para la síntesis deben ser muy considerados, ya que hay que recordar que se parte de tolueno o sus derivados, los cuales son hidrocarburos, por lo cual se deberá tener un control muy estricto en el manejo de sus residuos, ya que es altamente contaminante y tóxico. Por ello, debe tenerse un sistema capaz de biodegradar este tolueno y otros compuestos orgánicos hasta CO₂ y agua si se optara por un sistema aerobio de tratamiento o hasta metano y agua en caso de ser un tratamiento de tipo anaerobio. De acuerdo con Mrowiec (2014), los tratamientos biológicos no remueven el tolueno completamente en efluentes de agua tratada. La concentración de tolueno fue de 10µg/L por lo que deben diseñarse sistemas especiales para el tratamiento de aguas residuales ricas en tolueno (Mrowiec, 2014). Es de vital importancia degradar este tolueno, ya que debido a sus características físicas y químicas, es parcialmente soluble en agua, por lo que podría infiltrarse a fuentes de agua potable. Así mismo, es un compuesto volátil, por lo que pasaría a formar un contaminante atmosférico.

En el caso de la "stevia" existen diferentes técnicas para su extracción, aunque de manera general se sigue un diagrama de flujo (Diagrama 1). Como se aprecia, el proceso de producción de "stevia" requiere de una gran cantidad de agua, primeramente en la extracción que normalmente se hace en agua, toda esa agua es eliminada a través de los procesos de filtración, centrifugación, microfiltración, ultrafiltración, cristalización, recristalización, etc. Todos estos pasos incluyen una pérdida de agua por lo que deben emplearse los métodos adecuados para reutilizar esa agua dentro del mismo proceso o, por ejemplo, las aguas obtenidas de las microfiltraciones, centrifugaciones, etc., podrían reutilizarse para la extracción, con este principio de la reutilización de agua se ahorraría una cantidad importante de este vital líquido.

Como puede observarse, la elaboración de glúcidos y edulcorantes son procesos altamente demandantes de agua y energía, por lo que se deben emplear técnicas que reduzcan su consumo y que además no contaminen este vital líquido, que cada vez es más escaso.

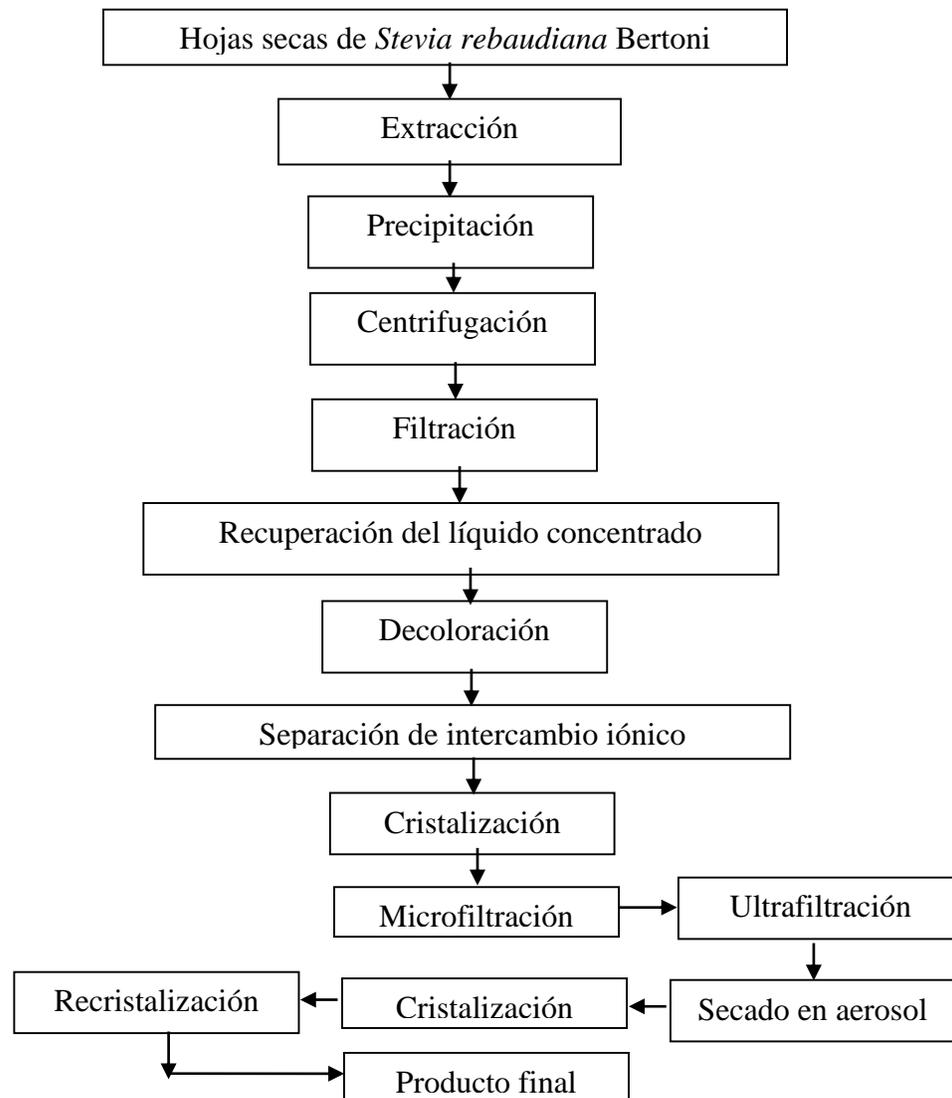


Diagrama 1. Proceso general de manufactura de “Stevia” (Gasmalla et al., 2014)

2.2. Suelo y subsuelo

El suelo es un recurso no renovable al cual, muchas veces, no se le da la importancia que merece. El suelo es el sustento para la vida y las actividades humanas y gracias a él se obtienen los alimentos para el consumo humano, mediante la agricultura y la ganadería. Precisamente para un grupo de glúcidos y edulcorantes se requiere de la agricultura como etapa del proceso de producción, estos glúcidos y edulcorantes son: la sacarosa (y de parte de ella para la sucralosa), la fructosa, la glucosa y la “stevia”. Los plaguicidas o pesticidas son parte integral de la producción agrícola moderna. Al igual que con la hidrosfera representan un peligro enorme para la geosfera. Si bien su uso está regulado en economías con un alto nivel de desarrollo, en las economías emergentes el rigor sobre la seguridad y control del uso de estas sustancias es cuestionable e inaceptable en un gran número de casos. El suelo es un recurso frágil que puede perderse por erosión o puede llegar a tal grado de degradación que ya no sea útil para mantener las cosechas (Manahan, 2007a). La degradación de suelos es un conjunto de procesos físicos, químicos y biológicos que

afectan la productividad de los ecosistemas. Los cambios producidos en el suelo por este proceso pueden llegar a ser irreversibles y tener consecuencias sociales, económicas, ecológicas y políticas negativas (Alejo-Santiago et al., 2015). La erosión es el traslado del suelo mediante el agua y el viento. Aunque existe erosión geológica, la que es preocupante es la erosión a corto plazo debido a las actividades antropogénicas. La erosión acaba con la fertilidad del suelo ya que elimina la capa superficial rica en nutrientes. Tan solo en los Estados Unidos se calcula que se pierden en promedio $16.4 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ al año. En la Figura 7 se observa la erosión en los Estados Unidos, debido al agua y el viento. Como se aprecia, el mayor grado de erosión se da en las zonas este y sur del país, la principal zona productora de maíz. Esto es de vital relevancia, ya que la materia prima para al menos dos de estos glúcidos, la fructosa y la glucosa, es precisamente el maíz. Esto se debe a que la labranza convencional separa y entierra los residuos del cultivo previo, lo que genera una superficie descubierta vulnerable a la erosión por el agua o el viento (Davis y Masten, 2005). De manera análoga la situación se repite en el caso del cultivo de la caña de azúcar y el cultivo de la “stevia”. En México la situación de la erosión no es mejor. De acuerdo con datos del INEGI (2014), el 52.99% del territorio nacional está erosionado, estando 4934.87 km^2 (0.25% del territorio) con un grado de erosión extremo, $60,660.29 \text{ km}^2$ (3.12%) con una erosión fuerte, $353,224.6 \text{ km}^2$ (18.17%) con una erosión moderada y $608,791.73 \text{ km}^2$ (31.32%) con una erosión leve. Lo anterior se puede ver ilustrado en la Figura 8.

Entre las medidas preventivas para tener sistemas de manejo sustentable del suelo se encuentran:

- *Rotación de cultivos:* La plantación de diferentes cultivos en una secuencia planificada para aumentar la materia orgánica del suelo y su biodiversidad, disminuyendo el uso de fertilizantes y pesticidas.
- *Cultivos de cobertura:* Es un cultivo que no se cosecha el cual es parte de la rotación planificada y que provee beneficios de conservación del suelo, ya que incrementa la materia orgánica del suelo, aumenta la retención de agua, provee nitrógeno a las plantas y controla las malezas.
- *No labranza:* El usar paja o mantilla donde el suelo ha sido descubierto evitando así su erosión por acción del viento o el agua.
- *Labranza con mantillo:* Evita la erosión del suelo por el viento o la lluvia además de incrementar la materia orgánica.
- *Manejo adecuado de los nutrientes:* El manejar los nutrientes del suelo para compensar las necesidades de la planta minimiza su impacto en el ambiente y el suelo (USDA, 2014b)

En el caso del segundo grupo de edulcorantes, es decir aquellos que no requieren de un proceso agrícola para su producción, el impacto sobre el suelo y los mantos acuíferos sería principalmente debido a los posibles derrames de materias primas o combustibles necesarios para su elaboración. Es de una notoria relevancia el caso de la síntesis de la sacarina, ya que como se aprecia en la Figura 5, la materia prima para la elaboración de este edulcorante artificial es el tolueno que, como se sabe, es uno de los compuestos que conforman el llamado BTEX (benceno, tolueno, etilbenceno y xileno) que se encuentran entre los derivados del petróleo, tales como la gasolina. El tolueno, el etilbenceno y el xileno producen efectos nocivos sobre el sistema nervioso central. Es por ello que es de vital importancia evitar los derrames de este y, en caso de que se lleguen a presentar, se tendría que analizar la extensión del derrame, el tipo de suelo sobre el cual se está dando el derrame así como si está acompañado por algún otro compuesto tóxico, para determinar el tratamiento de remediación más adecuado para cada caso particular.

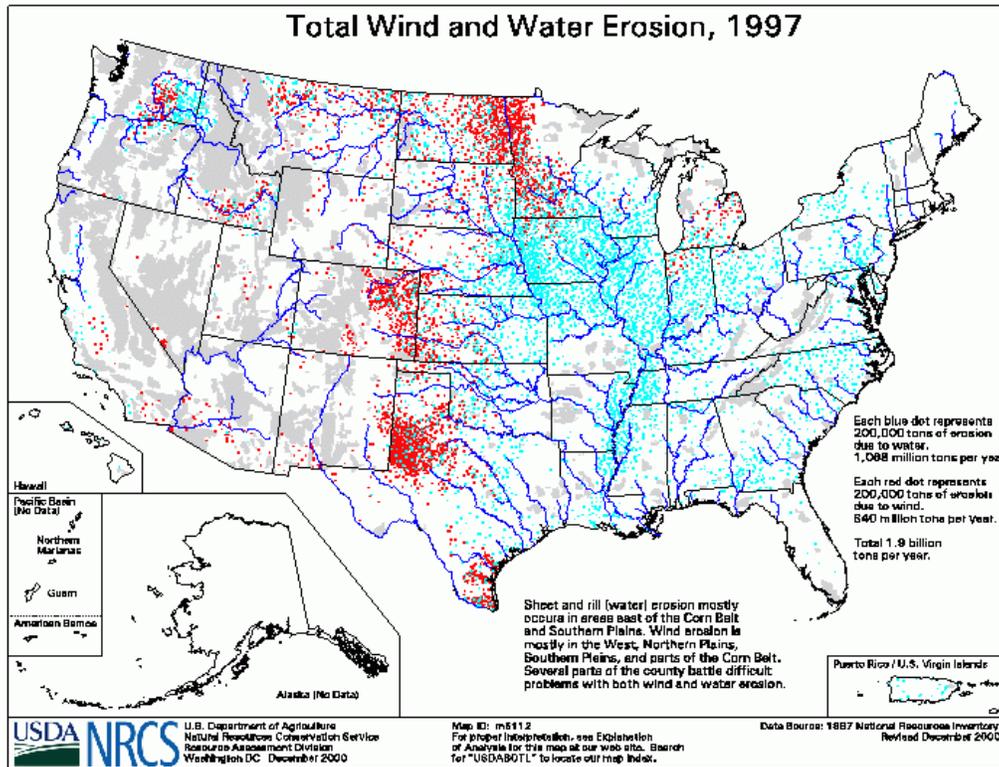


Figura 7. Mapa de los focos de erosión en los Estados Unidos en 1997 (USDA, 2014a)

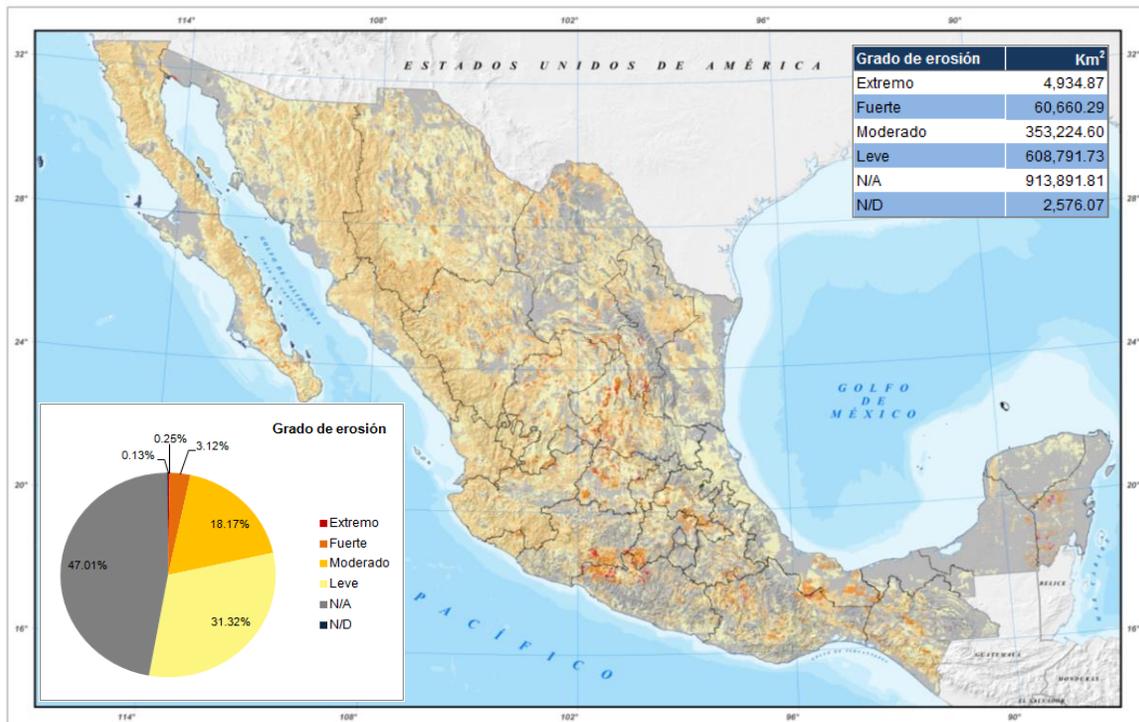


Figura 8. Grados de erosión en México (INEGI, 2014)

Algunos ejemplos de posibles tratamientos podrían ser los lavados “in situ” con surfactantes, la biorremediación, el arrastre “in situ”, la desorción térmica “ex situ”. La elección del método dependería de las características litológicas del suelo, la extensión y naturaleza del derrame y de la naturaleza de las sustancias derramadas, es decir, no existe un tratamiento único, sino que debe adecuarse a las características únicas de cada caso. En el caso de la obtención de la “stevia” se debe tener especial cuidado durante las etapas de extracción, ya que generalmente se realiza con diversos solventes orgánicos

3. Conclusiones y perspectivas

Como se apreció en este estudio, la producción de los edulcorantes, como toda actividad industrial, conlleva un daño al ambiente en todas y cada uno de sus esferas: atmósfera, hidrosfera y geosfera. Es por ello que se debe ser consciente y estudiar estas afectaciones con el fin de evitarlas o minimizarlas. Se debe poner atención a los posibles efectos tóxicos y alteraciones al metabolismo que causan estas sustancias al organismo, ya que cada día se incrementa su consumo a nivel global, incorporándolos a una mayor cantidad de alimentos. Por esta razón se deben continuar realizando más experimentos y estudios que ayuden a elucidar sus posibles efectos, con la finalidad de tener una certeza acerca de su inocuidad. Teniendo lo anterior en mente se realizó un estudio de mediano plazo acerca del efecto de la ingesta crónica de edulcorantes naturales y artificiales adicionados al agua potable suministrada a ratas de laboratorio. Se espera que estos experimentos ayuden a esclarecer más acerca de los posibles efectos que tenga el consumo de estas sustancias sobre el metabolismo (Alzamendi et al., 2009; Boarsly et al., 2010; Mitsutomi et al., 2013; Rycerz y Jaworska-Adamu, 2013; Simon et al., 2013). También se espera elucidar los posibles mecanismos causantes de estas alteraciones, especialmente, evaluando la influencia sobre la secreción de las hormonas incretinas (reguladoras del apetito y secreción de insulina), así como la lipogénesis y los genes involucrados en ella.

Reconocimientos

Los autores reconocen el apoyo del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el financiamiento parcial de esta investigación a través del proyecto con clave 178656. Al personal de la Unidad de Experimentación Animal (UNEXA) del Conjunto E de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM por su apoyo en todas las fases de la investigación con los modelos animales, Al personal de apoyo del Departamento de Fisiología de la Nutrición del Instituto Nacional de de Ciencias Médica y Nutrición “Salvador Zubirán” (INCMYNSZ). En especial al Q. Guillermo Ordaz Nava, quien conjuntamente con la Dra. Nimbe Torres y el Dr. Armando Tovar apoyaron en la realización de las pruebas bioquímicas y genéticas. Para la parte de docencia en ingeniería química los autores agradecen a la UNAM que, a través de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la UNAM ya que mediante el Programa de Apoyo a Proyectos para la Innovación y Mejoramiento de la Enseñanza (PAPIME) Clave PE100514 que permitió la adquisición de materiales, reactivos y pequeños equipos,, así como a los colegas Beatriz Espinosa Aquino del Instituto de Ciencias de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, a la Dra. en Ing. Marisela Bernal González y a la M. en A.I. de la Facultad de Química de la UNAM, así como a la Dra. María Irene Cano Rodríguez de la Universidad de Guanajuato por su valioso apoyo colegiado en el Proyecto PAPIME. Asimismo, se agradece al Programa de Apoyo a la Investigación y Posgrado de la Facultad de Química, PAIP-FQ, Clave 50009067 con el que se adquirieron parte de los reactivos, consumibles y materiales empleados en esta investigación. Este trabajo fue presentado en formato power point en el VIII Simposio Internacional en Ciencia y

Tecnología de Alimentos Dr. Mario Yanes García. Octubre 3-7, 2016 y su resumen en español aparece en la página 33 de las Memorias electrónicas.

Referencias

- Alejo-Santiago, G., Salazar-Jara, F.I., García-Paredes, J. D., Arrieta-Ramos, B.G., Jiménez-Meza, V.M., Sánchez-Menton, A.L. 2015. Degradación físico-química de suelos agrícolas en San Pedro Lagunillas, Nayarit. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 15: 323-328.
- Alzamendi, A., Gio ambattista, A., Raschia, A., Madrid, A., Gaillard, R.C., Rebolledo, O., Gagliardino, J.J., Spinedi, E. 2009. Fructose-rich diet-induced abdominal adipose tissue endocrine dysfunction in normal male rats. *Endocrine*, 35:227–232.
- Boarsly, M.E., Powell, E.S., Avena, N.M., Hoebel, B.G. 2010. High-fructose corn syrup causes characteristics of obesity in rats: Increased body weight, body fat and triglyceride levels. *Pharmacology, Biochemistry and Behavior*, 97(1): 101-106.
- CONAGUA. 2011. Estadísticas del agua en México, edición 2011. En línea en <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/SGP-1-11-EAM2011.PDF>
- Davis, M.L., Masten, S.J. 2005. *Ingeniería y ciencia ambientales*. Editorial McGraw-Hill, México D.F., México, pp. 614-616.
- DOF. 1996. NORMA Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Diario Oficial de la Federación. Poder Ejecutivo Federal. Estados Unidos Mexicanos. México D.F.
- ECURED. 2012. Sacarina. En línea www.ecured.cu/index.php/Sacarina
- Fujita, Y., Wideman, R.D., Speck, M., Asadi, A., King, D.S., Webber, T.D., Haneda, M., Kieffer, T.J., 2008. Incretin release from gut is acutely enhanced by sugar but not by sweeteners in vivo. *American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism*, 296:E473-E477
- FAO-AQUASTAT. 2015. En línea http://www.fao.org/nr/water/aquastat/data/query/results.html?regionQuery=false&showCodes=true&yearRange.fromYear=1960&yearRange.toYear=2015&varGrpIds=4250,4251,4252,4253,4254,4255,4256,4257,4260,4261,4262,4263,4264,4265,4269,4270,4275,4451,4475,4490,4491,4493,4510,4512,4515,4516,4517,4535&cntIds=138&newestOnly=false&showValueYears=true&categoryIds=-1&XAxis=YEAR&query_type=CP&YAxis=VARIABLE&hideEmptyRowsColumns=true&lang=es
- FAO. 2015a. En línea <http://www.fao.org/agriculture/crops/mapa-tematica-del-sitio/theme/pests/code/hhp/es/>
- FAO. 2015b. En línea. <http://www.fao.org/agriculture/crops/mapa-tematica-del-sitio/theme/pests/code/es/>
- García-Garibay, M., Quintero-Ramírez, R., López-Munguía, A. 2005. *Biotecnología Alimentaria*. Limusa Noriega Editores, México D.F., México, pp. 519-533.
- Gasmalla, M. A. A., Yang, R., Huan, X. 2014. *Stevia rebaudiana Bertoni*: An alternative sugar replacer and its application in food industry. *Food Engineering Reviews*. 6:150-162.
- Gutiérrez-Moreno, P.L., Carro-Suárez, A. 2015. Estudio de Inteligencia Tecnológica sobre la síntesis de un edulcorante intensivo derivado del azúcar. En línea <http://www.bibliociencias.cu/gsd/collect/eventos/index/assoc/HASH0102/229b52cc.dir/doc.pdf>
- Hanover L.M., White J. S. 1993. Manufacturing, composition, and applications of fructose. *American Journal Of Clinical Nutrition*. 58(supplement):724S-732S.
- INEGI. 2014. Erosión de suelos en México. En línea. www.inegi.org.mx/inegi/contenidos/espanol/prensa/.../comunica1.pdf
- Lorenzo, C., Serrano-Díaz, J., Plaza, M., Quintanilla, C., Gonzalo, A. 2014. Fast methodology of analysing major steviol glycosides from *Stevia rebaudiana* leaves. *Food Chemistry*. 157:518-523.
- Manahan, S.E. 2007a. *Introducción a la química Ambiental*. Editorial Reverte Coedición Universidad Nacional Autónoma de México. Barcelona, España, pp. 338-341.

- Manahan, S.E. 2007b. *Introducción a la química Ambiental*. Editorial Reverte Coedición Universidad Nacional Autónoma de México. Barcelona, España, pp. 556-567.
- Martínez, C., González, E., García R., Salas, G., Fernando C.-Casas, Macías, L., Gracia I., Tovar, C., Durán-de-Bazúa C. 2010. Effects on body mass of laboratory rats after ingestion of drinking water with sucrose, fructose, aspartame, and sucralose additives. *The Open Obesity Journal*. 2:116-124.
- Mitsutomi, K., Masaki, T., Shimasaki, T., Gotoh, K., Seiichi, C., Kakuma, T., Shibata, H. 2013. Effects of a nonnutritive sweetener on body adiposity and energy metabolism in mice with diet-induced obesity. *Metabolism clinical and experimental*. 63:69-78.
- Mrowiec, B. 2014. Toluene in sewage and sludge in wastewater treatment plants. *Water and Science Technologies*. 69(1):128-133.
- Rycerz, K., Jaworska-Adamu, J.E. 2013. Effects of aspartame metabolites on astrocytes and neurons. *Folia Neuropathol*. 51(1):10-17
- SAGARPA. 2012. Importancia de la agroindustria de la caña de azúcar. En línea <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/Documents/Cultivos%20Agroindustriales/Impactos%20Ca%C3%B1a.pdf>
- SEMARNAT. 2009. Compendio de estadísticas ambientales, México. En línea http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/compendio_2009/
- Simon, B.R., Parlee, S.D., Learman, B.S., Mori, H., Scheller, L.E., Cawthorn, W.P., Ning, X., Gallagher, K., Tyrberg, B., Assadi-Porter, F.M., Evans, C.R., MacDougald, A.O. 2013. Artificial sweeteners stimulate adipogenesis and suppress lipolysis independently of sweet taste receptors. *The Journal of Biological Chemistry*, 288(45): 32475-32489.
- Soffritti, M., Padovani, M., Tialdi, E., Falcioni, L., Manservigi, L., Belgoppi, F. 2014. The Carcinogenic Effects of Aspartame: The Urgent Need for Regulatory Re-Evaluation. *American Journal Of Industrial Medicine*, 57:383-397.
- Suez, J., Koreem, T.; Zeevi, D., Zilberman-Schapira, G., Thaiss, C., Maza, O., Israeli, D., Zmora, N., Gilad, S., Weinberger, A., Kuperman, Y., Harmelin, A., Kolodkin-Gal, I., Shapiro, H., Halpern, Z., Segal, E., Elinav, E. 2014. Artificial sweeteners induce glucose intolerance by altering the gut microbiota. *Nature*, 514:181-186.
- UNAD. 2015. Biotecnología Alimentaria. Capitulo 22. Inmovilización de enzimas. Universidad Nacional Autónoma a Distancia de Colombia. En línea http://datateca.unad.edu.co/contenidos/211619/Contenido_en_linea_eXe/leccin_22_inmoviliza_cin.html
- USDA. 2014a. En línea http://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_MEDIA/nrcs143_011249.gif
- USDA. 2014b. Lista de suelos saludables y productivos para productores agrícolas. En línea <http://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/main/national/enespanol/>
- Wang, Q., Lin, Y., Zhang, L., Wilson, Y., Oyston, L., Cotterell, J., Qi, Y., Khuong, T., Bakhshi, N., Planchenault, Y., Browman, D., Lau, M., Cole, T., Wong, A., Simpson, S., Cole, A., Penninger, J., Herzog, H. 2016. Sucralose Promotes Food Intake through NPY and a Neuronal Fasting Response. *Cell Metabolism*, 24(1):75-90 [doi:10.1016/j.cmet.2016.06.010](https://doi.org/10.1016/j.cmet.2016.06.010)
- Wu, T., Zhao, B., Bound, M., Checklin, H., Bellon, M., Little, T., Young, R., Jones, K., Horowitz, M., Rayner, C. 2012. Effects of different sweet preloads on incretin hormone secretion, gastric emptying, and postprandial glycemia in healthy humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 95:78-83.