

Trabajo Final

Lic. en Ciencia y Tecnología
de los Alimentos



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

Estudiante: Deborah D'Amaro
Directora: Ana Clara Sabbione

2023

Índice

• Introducción	
I.1 Pseudocereales.....	1
I.2 Fibra dietaria.....	15
I.3 Probióticos, prebióticos y simbióticos.....	18
• Hipótesis y objetivos.....	20
• Materiales y métodos.....	21
• Capítulo 1. La fibra en los pseudocereales y su comparación con la de otras fuentes.	
1.1 Pared celular vegetal.....	22
1.2 Principales componente de la fibra dietaria.....	23
1.3 Composición de la fibra dietaria en pseudocereales.....	34
1.4 Composición de la fibra dietaria en otras fuentes alimentarias.....	41
1.5 Comparación entre fibra dietaria de pseudocereales y otras fuentes alimentarias.....	48
• Capítulo 2. Relación entre la estructura de la fibra de pseudocereales y su potencial efecto modulador y prebiótico.	
2.1 Microbiota intestinal humana.....	50
2.2 Modulación de la microbiota. Probióticos y prebióticos.....	54
2.3 Posible efecto modulador y prebiótico de la fibra de pseudocereales.....	58
• Capítulo 3. Consumo de pseudocereales en Argentina y su potencial como ingrediente funcional en una matriz alimentaria.	
3.1 Consumo de pseudocereales en Argentina.....	62
3.2 Comercialización de Pseudocereales en Argentina.....	76
3.3 Elección de potenciales matrices alimentarias elaboradas a partir de pseudocereales para incorporar en el mercado bonaerense.....	80
• Conclusiones.....	86
• Aprendizajes y herramientas.....	87
• Anexo 1.	88
• Bibliografía.....	89

The background of the page is a white canvas decorated with several large, irregular watercolor splashes. The colors are primarily various shades of green, ranging from light, pale greens to deep, vibrant forest greens. There are also some splashes of a muted blue-green color. The splashes have soft, feathered edges, giving the overall appearance a soft, artistic, and natural feel.

Introducción

I.1 Pseudocereales

I.1.1 Principales características de los pseudocereales

El cultivo de pseudocereales data de la antigüedad, sin embargo, a lo largo de la historia, su consumo decayó de manera pronunciada por diversos factores, entre los que se encuentran motivos religiosos, culturales y económicos. Su cultivo fue gradualmente reemplazado por el de otros granos masivos como el trigo, el arroz y el maíz, viéndose modificada la alimentación de las civilizaciones que se nutrían de estas semillas. Si bien los pseudocereales no fueron erradicados en su totalidad, su cultivo quedó relegado a pequeñas porciones de tierra, con poca inversión, desarrollo tecnológico e investigación, y fue generalmente realizado por pequeños productores locales que continuaron el legado de la siembra como se hacía tradicionalmente.

En la actualidad, la búsqueda de estilos de vida saludables y de alimentos más nutritivos y adaptables a diversos factores climáticos, ha favorecido el estudio de cultivos subutilizados o alternativos, fomentando de este modo el resurgimiento de los pseudocereales. Organizaciones tales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), autoridades gubernamentales y la comunidad científica aúnan sus esfuerzos para buscar alimentos que puedan satisfacer las necesidades de la población mundial, en incesante crecimiento. En un mundo de 7.000 millones de habitantes, la agroindustria se enfrenta al inmenso desafío de buscar asegurar un suministro adecuado de alimentos, manteniendo al mismo tiempo una alta productividad y calidad de los mismos. Además, se prevé que la población mundial alcance los 10.900 millones en 2050, de modo que deberán buscarse alternativas que permitan combatir la crisis alimentaria en un futuro cercano ([Bekkering y Tian, 2019](#)).

Según la FAO, “la seguridad alimentaria existe cuando todas las personas tienen, en todo momento, acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos que satisfacen sus necesidades energéticas diarias y preferencias alimentarias para llevar una vida activa y sana”. En el presente la seguridad alimentaria mundial depende en gran medida de unas pocas variedades de cereales, ya que se estima que más del 50% de la demanda calórica de la población proviene del trigo, el maíz y el arroz. Si bien estos granos son una parte esencial de la mayoría de las dietas, son deficientes en algunos micronutrientes, y se estima que esta insuficiencia afecta aproximadamente a 2.000 millones de personas en todo el mundo ([Pirzadah y Malik, 2020](#)). En ese sentido, el estudio de los pseudocereales ha demostrado que son nutricionalmente superiores a cultivos más tradicionales como los cereales. Su contenido de proteínas es generalmente mayor y son ricos en aminoácidos esenciales como la lisina, el cual es limitante en cereales, así como también en arginina, triptofano e histidina. Además, los parámetros digestibilidad, biodisponibilidad y el índice de eficiencia proteica

(PER), que se asocian a la calidad de las proteínas, son más elevados en el caso de los pseudocereales, siendo comparables con la caseína de la leche (Pirzadah y Malik, 2020). También es importante destacar que el trigo, avena, cebada y centeno, todos cultivos de la familia *Triticeae*, contienen gliadina, una proteína que forma parte del gluten que no puede ser consumida por aquellas personas que padecen celiaquía (Mir y col., 2018), mientras que los pseudocereales no contienen este tipo de proteínas, por lo tanto, es seguro incluirlos en dietas sin gluten destinadas a personas celíacas.

La constante investigación en el área de los alimentos promueve el hallazgo de nuevos componentes alimentarios que podrían ser beneficiosos para la salud. Este es el caso de los péptidos bioactivos, los cuales se hallan en diversos alimentos, entre ellos, algunos pseudocereales. Los péptidos bioactivos son secuencias de entre 3-20 aminoácidos que se encuentran en forma inactiva en las proteínas precursoras, y una vez liberados por hidrólisis química o enzimática en la digestión gastrointestinal o en el procesamiento de los alimentos, tienen la capacidad de ejercer un efecto beneficioso en el organismo, pudiendo ayudar a reducir el riesgo de padecer algunas enfermedades crónicas (Mulero Cánovas y col., 2011). La presencia de péptidos bioactivos y otros componentes que aportan beneficios para la salud, permite incluir a algunos pseudocereales dentro de la categoría de alimentos funcionales (Morales de la Peña y col., 2020), dado que podrían mejorar la salud y/o reducir el riesgo de contraer enfermedades de quienes los consuman. Los lípidos también son macrocomponentes de importancia nutricional, ya que, en los pseudocereales los lípidos presentan un alto grado de insaturación (entre un 75-86%). Los ácidos grasos más abundantes son el ácido linoleico (omega-6), seguido de oleico y de palmítico, aunque también contienen cantidades apreciables de ácido linolénico (omega-3) (Reguera y Haros, 2017). El ácido linoleico y el linolénico son esenciales para el organismo, ya que éste no puede sintetizarlos, además, poseen varios efectos benéficos asociados a la prevención de enfermedades cardiovasculares y mejoran la sensibilidad a la insulina (Mir y col., 2018). Se ha encontrado que una dieta con alto contenido de ácido α -linolénico reduce los marcadores biológicos asociados con muchas enfermedades degenerativas, cáncer, osteoporosis, enfermedades inflamatorias y autoinmunes (Mir y col., 2018). Por otra parte, se considera que los pseudocereales son una buena fuente de fibra dietaria, al igual que los cereales integrales. Ambos tipos de semillas comparten la particularidad de contener la mayor parte de la fibra en sus cubiertas externas. La fibra dietaria es considerada fundamental en el buen funcionamiento gastrointestinal, además de ayudar a controlar el peso y prevenir enfermedades no transmisibles como la diabetes y las enfermedades cardiovasculares (Almeida-Alvarado y col., 2014). En cuanto a los micronutrientes, algunos pseudocereales como el trigo sarraceno, la quinoa y el amaranto son ricos en diversos minerales tales como magnesio, calcio, zinc, hierro, cobre y fósforo en comparación con los cereales. Estos pseudocereales también presentan un alto contenido de vitamina A, B2, B6, E, C, niacina y ácido fólico

en comparación con el arroz, y tienen una cantidad significativa de flavonoides, compuestos polifenólicos y fitoesteroles, por lo que se emplean en la elaboración de nutraceuticos (Pirzadah y Malik, 2020).

A pesar de los potenciales beneficios que puedan aportar los pseudocereales, aún existen varios factores que obstaculizan la incorporación de estos cultivos en los sistemas agroalimentarios mundiales. Estos factores van desde los aspectos sociales, como la falta de difusión, los económicos como la baja participación en el mercado y la falta de inserción en productos de consumo masivo, hasta los factores agronómicos tales como el rendimiento y la falta de tecnología aplicada a estos cultivos. El conocimiento acerca del rendimiento y la calidad de los pseudocereales se restringe en gran medida a sistemas de pequeña escala, con baja inversión, y que son cultivados de maneras más rústicas, por lo tanto, no puede compararse con los cultivos masivos. La gran cantidad de tecnología e investigación disponible para los cereales tradicionales, además de la presencia de canales de comercialización más numerosos y afianzados, hacen que los productores elijan no apostar por cultivos subutilizados.

Analizados desde el punto de vista botánico, los pseudocereales son semillas dicotiledóneas, en tanto, los cereales verdaderos como el trigo, el arroz y el maíz son monocotiledóneos y pertenecen a la familia de las *Poaceae* (gramíneas). Sin embargo, las semillas tanto de los pseudocereales como de los cereales son ricas en almidón (Janssen y col., 2017) y tienen características similares de cocción, palatabilidad y usos. Algunos de los pseudocereales más conocidos a nivel mundial son el amaranto (*Amaranthus spp.*) y la quinoa (*Chenopodium spp.*) los cuales pertenecen a la familia *Amaranthaceae*, y el trigo sarraceno (*Fagopyrum spp.*) perteneciente a la familia *Polygonaceae* (Figura 1).

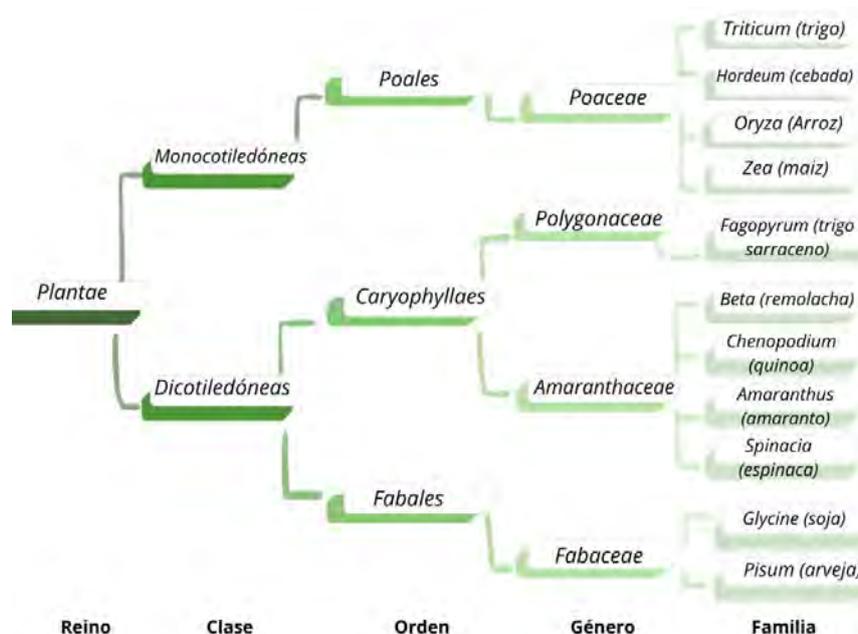


Figura 1. Árbol filogenético para varios cereales verdaderos, pseudocereales, plantas con flores comestibles y leguminosas (Janssen y col., 2017).

Amaranto

El amaranto es una planta que tiene su origen en el continente americano hace más de 4000 años. Se cultiva desde la época prehispánica en México y la región andina, y fue una fuente importante de alimento para las civilizaciones que se encontraban poblando la zona en ese entonces, especialmente los incas y los aztecas. Para los pobladores aztecas el amaranto era una semilla sagrada, con ella fabricaban formas de animales, guerreros y dioses, mezclándola con miel y en ocasiones con sangre humana; luego las ofrecían como homenaje a los dioses en ceremonias y las repartían entre la población para ser consumidas. También usaban sus flores para adornar las tumbas, ya que éstas no se marchitan y toman un color aún más bonito luego de ser cortadas, este detalle para ellos representaba la inmortalidad. Los incas también respetaban mucho esta semilla, ya que le atribuían algunas propiedades medicinales. Con la llegada de los conquistadores españoles se prohibió su cultivo y tenencia debido a que se asociaba a ceremonias que los sacerdotes conquistadores consideraban paganas y que, además, tenían una similitud con la hostia de la religión cristiana. Los españoles mandaron a quemar todas las siembras, sin embargo, dicha prohibición no llegó a los lugares apartados, motivo por el cual su producción se mantuvo y fue consumida clandestinamente por cientos de años (Bohórquez-Avelino y col., 2019). En la década de 1980, estas especies fueron redescubiertas como cultivos alimentarios prometedores para la seguridad alimentaria debido a su resistencia y tolerancia a factores bióticos (plagas y enfermedades) y abióticos (temperatura y sequía) y debido al alto valor nutricional de sus semillas (Di Fabio y Parraga, 2017).

Si bien el amaranto es originario de América del Sur y América Central, su cultivo se ha expandido notablemente en China y en la India, impulsado por los respectivos gobiernos que buscan combatir el hambre de la población. Actualmente el principal productor es China con 150.000 hectáreas cultivadas, seguido por países como India, con aproximadamente 50000 hectáreas, y Perú, México, Estados Unidos, donde las hectáreas cultivadas rondan entre las 2000 a 500 hectáreas. En nuestro país se estima que el área cultivada anualmente es solo de 50 hectáreas (Gonzalez, 2014), aunque este cultivo sería una buena alternativa para el cultivo estival, ya que su producción es relativamente sencilla y se adapta bien a suelos más pobres que no pueden ser utilizados por otros cultivos. En Argentina la zona donde podría cultivarse comprende Salta, Jujuy, Santiago del Estero, Córdoba, este de La Pampa y oeste de Buenos Aires, siendo una de las principales condiciones a tener en cuenta que las zonas sean libres de heladas, ya que, si bien la planta presenta una alta resistencia al frío, no tolera regiones con heladas (Gonzalez, 2014).

El ciclo de cultivo del amaranto dura unos 150-180 días y se desarrolla idealmente a una altitud comprendida entre los 400 y los 3100 msnm según la variedad cultivada. Los niveles de humedad

óptimos oscilan entre 400 y 800 mm anuales, no obstante, se pueden producir buenas cosechas con 250 mm, aunque una humedad razonable es esencial para la germinación y la floración. Una vez establecido, el amaranto es tolerante a la sequía (Di Fabio y Parraga, 2017). Su resistencia a los climas adversos se debe a su particular y eficiente proceso de fotosíntesis, que permite a la planta crecer rápidamente, sin requerir de mucha energía para mantenerse (Chancahuaña Alva, 2018).

El tallo principal de la planta de amaranto puede alcanzar una altura de 2 a 2,5 m en la madurez, y de él brotan vistosas flores moradas, rojas o doradas (**Figura 2a**). Las semillas tienen forma de lenteja y miden alrededor de 1 mm de diámetro, son de color amarillo o castaño claro (**Figura 2b**), aunque también las hay de color negro. A diferencia de los cereales tradicionales, la mayor proporción del almidón no se encuentra en el endospermo, sino en el perispermo (Prieto, 2010), y el germen, formado por los cotiledones, es de forma circular y se encuentra rodeando al perispermo (**Figura 2c**). El germen representa un 25% de la semilla, y junto con la cubierta de la semilla (epispermo) representan la fracción de salvado, que es relativamente rica en grasas y proteínas. Además, el porcentaje de fracción de salvado en las semillas de amaranto es mayor en comparación con los cereales comunes, lo que explica los mayores niveles de proteína y grasa presentes en estas semillas (Alvarez-Jubete y col., 2010).

Existen más de 70 especies de amaranto, de las cuales la mayoría son nativas de América y unas 15 especies provienen de otros continentes. En la actualidad solo tres especies se utilizan para la producción de grano: *A. cruentus* L., *A. caudatus* L. y *A. hypochondriacus* L (Prieto, 2010). En los países andinos estas semillas son consumidas de manera similar a los cereales, mayormente empleando la harina para la preparación de productos de panadería, repostería, chicha y refrescos instantáneos. El proceso de obtención de la harina de la manera tradicional con molino de piedra, puede resultar dificultoso por el tamaño y consistencia de la semilla, en esos casos se tuestan las semillas hasta que revientan (*pops*), y luego pueden ser molidas con facilidad (Rojas y col., 2010). En México se consume también de una manera muy tradicional, las semillas se mezclan con miel caliente para conseguir su *popeado*, luego se deja enfriar y se modela en forma circular o de barra. A este curioso postre se lo llama alegría. Además del grano, también pueden ser consumidas sus hojas (**Figura 2d**), que se suelen recolectar frescas para utilizar en ensaladas, escaldadas, al vapor, o hervidas, de la misma manera que se utilizan las hortalizas.

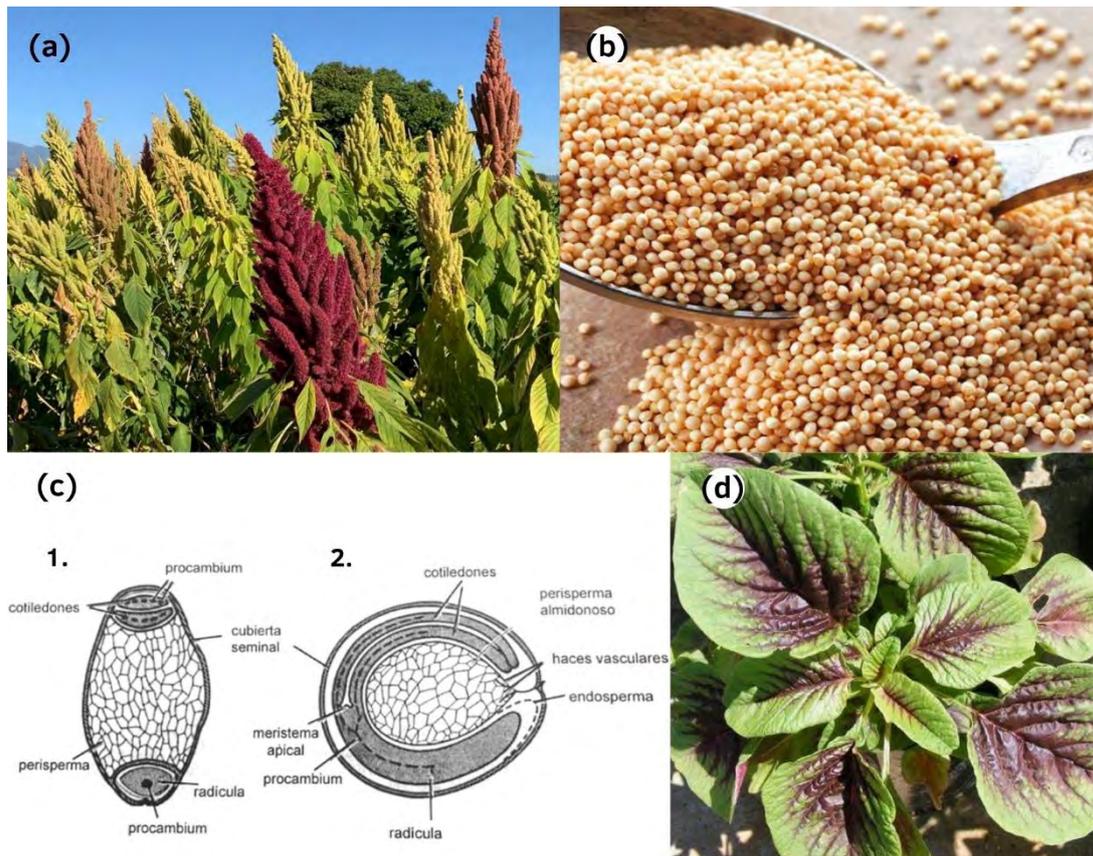


Figura 2. Imágenes de amaranto. (a) Plantas de amaranto. (b) Semillas de amaranto. (c) Ilustración de un grano de amaranto, corte transversal (1) y corte longitudinal (2). (d) Hojas de amaranto.

El grano de amaranto posee un alto valor nutritivo de acuerdo con la clasificación de alimentos establecida por la FAO, y dada la tolerancia de su cultivo a condiciones adversas se considera como una alternativa para contribuir a reducir la desnutrición en zonas agrícolas marginales. Una de las particularidades que presenta esta semilla es su contenido de minerales, en particular el calcio, que se encuentra en cantidades significativas, pudiendo ser provechoso para la población en general, pero en especial para las personas con celiaquía, debido a que la osteoporosis y la osteopenia son enfermedades que prevalecen en este grupo de personas. En este sentido, el consumo de amaranto como parte de la dieta sin gluten podría contribuir a asegurar una adecuada ingesta de calcio (Alvarez-Jubete y col., 2010). En cuanto a sus proteínas, el amaranto no solo posee un contenido elevado y una composición de aminoácidos más adecuada en comparación a los cereales, sino que además se estima que la digestibilidad de estas proteínas es de alrededor del 90% (Vilcacundo, 2017), lo cual convierte al amaranto en una extraordinaria fuente proteica. Las bondades de las proteínas de amaranto no concluyen en lo meramente nutricional, ya que además dentro de sus estructuras, se hallan secuencias aminoacídicas específicas que al ser liberadas mediante hidrólisis presentan actividad biológica. Se ha demostrado la presencia de péptidos con potencial antihipertensivo (Suárez y col., 2020),

inmunomodulatorio (Moronta y col., 2016), antioxidante (Orsini y col., 2016), antitrombótico (Sabbione y col., 2015) e hipocolesterolémico (Sisti y col., 2019). Otra característica funcional interesante es aportada por la presencia de escualeno. El escualeno es un hidrocarburo insaturado que forma parte de la fracción lipídica de muchas semillas, entre ellas el amaranto, el cual posee cantidades más elevadas que otros granos. Entre las propiedades del escualeno se encuentra que su consumo posiblemente reduzca el riesgo de contraer algunos tipos de cáncer y los niveles de colesterol (Valencia-Chamorro y col., 2017).

Quinoa

El cultivo de la quinoa tuvo su máxima difusión en la época incaica y abarcó la región andina que se extiende desde Colombia, hasta el noroeste de Argentina y norte de Chile. Se originó en los alrededores del lago Titicaca que comparten Perú y Bolivia, y fue utilizada por las civilizaciones precolombinas que habitaron la zona. Hay evidencia histórica que indica que su domesticación puede haber ocurrido entre los años 3000 y 5000 a.C. (Rubén y col., 2015). La quinoa tenía desarrollo tecnológico apropiado y una amplia distribución en el territorio inca y fuera de él cuando los españoles arribaron, pero aun así, con el pasar de los años su producción y uso disminuyó significativamente, coincidiendo con el colapso de las culturas indígenas tras la conquista española. Su producción continuó a pequeña escala mientras que los cereales, traídos por los españoles, fueron cultivados a gran escala.

En la actualidad, Perú y Bolivia son los principales países productores y exportadores a nivel mundial, según datos informados por la FAO. En 2019 estos países concentraron un 55% y 40% de la producción mundial, respectivamente, seguido por Ecuador, con apenas un 3% de la producción. En ese mismo año, la producción mundial ascendió a 161.415 toneladas. En cuanto al mercado mundial de quinoa, el principal importador es Estado Unidos, seguido por Canadá y Francia. (FAOSTAT, web: <https://www.fao.org/faostat/es/#search/quinua>). La FAO no cuenta con cifras oficiales de producción de quinoa en nuestro país, pero a juzgar por los datos actuales, Argentina no sería un importante productor, aunque participa en el comercio internacional como importador de este grano. La quinoa llega a nuestro país desde Perú, Bolivia y en menor medida Chile. El mercado internacional y sus proyecciones indican que la demanda mundial es creciente, por lo tanto, fomentar un cultivo de estas características en el país, con creciente popularidad y reconocimiento internacional, podría ser beneficioso para la economía regional de la zona andina, donde ya existen cultivos de quinoa, y donde los factores ambientales son propicios para su implementación y crecimiento.

La quinoa es una planta herbácea anual con un sistema de raíces ramificadas que se desarrolla de manera muy profunda; su altura puede ser diferente según la variedad de la que se trate, y puede

medir entre 0,5 y 2,5 m. Sus semillas, que tienen forma lenticular y miden aproximadamente 2 mm de diámetro, están encerradas en el cáliz de la flor. Tanto las flores como las semillas presentan variedad de colores, sus flores pueden tomar tonalidades rojizas, verdes, amarillas o moradas (**Figura 4a**), mientras que sus semillas pueden ser amarillas, marrones, rojas y negras (**Figura 4b**). La estructura del grano de quinoa difiere significativamente de la de los cereales como el maíz y el trigo ([Alvarez-Jubete y col., 2010](#)). Al igual que en el amaranto, el germen es circular, contiene los dos cotiledones y se encuentra rodeando el perispermo en el cual está la mayor parte del almidón (**Figura 4c**). El epispermo es la cubierta de la semilla y junto con el germen forman la fracción de salvado, la cual es mayor que en los cereales tradicionales y contiene mayormente fibra, proteínas y lípidos. El epispermo se divide en 4 capas y la más externa de ellas contiene las saponinas. Estas sustancias son consideradas factores antinutricionales por reducir la biodisponibilidad de algunos nutrientes como el hierro y el zinc, además de conferirle a las semillas un sabor amargo. Por estos motivos las saponinas deben ser retiradas antes de consumir la semilla. Esto puede hacerse por lavado con agua o por escarificado, que consiste en la eliminación por fricción de la parte del epicarpio que las contiene. Luego de este proceso se obtiene un polvo rico en saponinas que puede ser utilizado para su aislamiento, ya que poseen interés farmacológico y tecnológico. Otra manera de conseguir quinoa con bajo contenido de saponinas es cultivar las especies denominadas “dulces”, las que, naturalmente, contienen bajos niveles de saponinas ([Mir y col., 2018](#)).

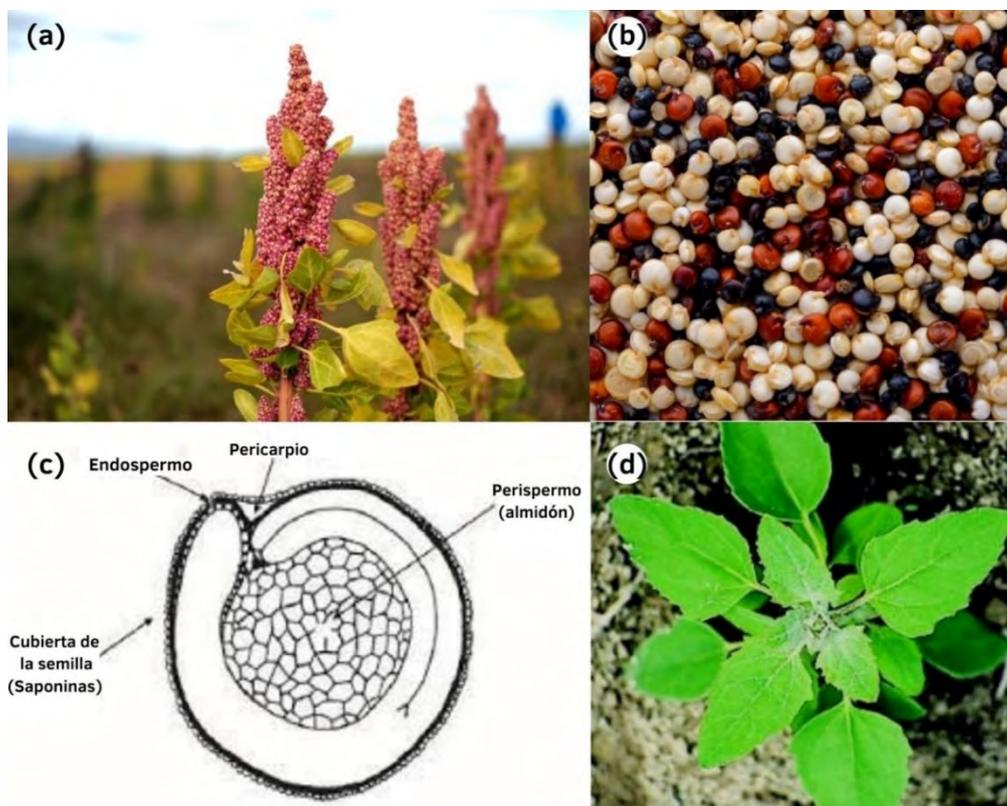


Figura 4. Imágenes de quinoa. (a) Plantas de quinoa. (b) Semillas de quinoa (c) Ilustración de corte de una semilla de quinoa. (d) Hojas de quinoa.

El ciclo de cultivo de la quinoa dura unos 160-180 días. Es una planta muy adaptable al suelo y al clima, soportando condiciones que otros cultivos no tolerarían. Crece desde el nivel del mar hasta cerca de los 4000 msnm, y existen ecotipos que se adaptan a cada tipo de clima, los cuales se pueden clasificar en 5 categorías básicas según su adaptación a las características geográficas: quinoa del altiplano, quinoa del valle, quinoa de terrenos salinos, quinoa subtropical, y quinoa del nivel del mar (Meyhuay y Mejía, 2013).

La quinoa es consumida de manera tradicional en la región andina. En países como Bolivia y Perú se elaboran diversas preparaciones que incluyen masas, buñuelos, tortas, bebidas y variedad de sopas (Rojas y col., 2010), empleándose como sustituto del arroz para acompañar otros platos. También se pueden consumir sus hojas tiernas (**Figura 4d**) de manera similar a las hortalizas. En nuestro país suele consumirse habitualmente en el noroeste, en coincidencia con la zona de producción, aunque en los últimos años se popularizó y puede encontrarse en casi todo el territorio nacional. En el mercado actual, se está introduciendo la quinoa en alimentos industrializados, como pastas, snacks y cereales para desayuno, a veces combinado con cereales o legumbres, para realzar la calidad nutricional o como ingrediente en productos sin TAAC.

Se ha reconocido mundialmente el valor nutritivo de la quinoa por sus proteínas de alta calidad, particularmente ricas en aminoácidos esenciales, y por su contenido de carbohidratos, que producen bajos índices de glucemia. Posee además variedad de compuestos bioactivos, entre los que resaltan los flavonoides y otros compuestos polifenólicos, que le otorgan a esta semilla propiedades funcionales relevantes para la reducción de factores de riesgo de enfermedades crónicas, destacándose su capacidad antioxidante. Se considera que estos compuestos tienen muchos efectos beneficiosos potenciales para la salud, por ejemplo, en la reducción del riesgo de enfermedades cardiovasculares, cánceres, enfermedades neurodegenerativas, diabetes y osteoporosis (Repo-Carrasco-Valencia y col., 2010). Todas estas características destacan la calidad nutricional y funcional de la quinoa respecto a granos de cereales tales como maíz, avena, trigo y arroz. Además, por ser considerados pseudocereales, no contienen gluten y pueden ser consumidas por personas que padecen celiaquía. El valor nutricional de esta semilla es tan alto que la Asamblea General de las Naciones Unidas (ONU) declaró al año 2013 como el “El Año Internacional de la Quinoa” para resaltar sus propiedades, las cuales podrían contribuir incluso a erradicar el hambre en el mundo. Tanto la quinoa como el amaranto han sido clasificados como los mejores alimentos de origen vegetal para los seres humanos, por lo que fueron seleccionados por la National Aeronautics and Space Administration (NASA) para integrar la dieta de los astronautas en vuelos espaciales.

Trigo Sarraceno

El trigo sarraceno, también llamado alforfón, es originario de Asia central y Siberia. Se lo conocía desde antes de la era cristiana, aunque los primeros registros datan de los siglos IX y X en China. De Asia fue llevado a Rusia y de allí a Europa, expandiéndose a través de las rutas de comercio y también debido a las invasiones. Desde la época colonial se lo cultiva en Estados Unidos y como consecuencia de los flujos migratorios también fue llevado a Chile y Brasil. En el año 1897 inmigrantes ucranianos y polacos llegaron a América del Sur, y luego de radicarse en Argentina, en la provincia de Misiones, cultivaron esta especie para consumo propio. De acuerdo a la tradición ucraniana, en la mesa de año nuevo como símbolo de buenos augurios, no podía faltar la leche, la miel y el trigo sarraceno (Di Fabio y Parraga, 2017).

Históricamente los principales productores de trigo sarraceno fueron China, liderando la producción, seguido por Rusia y Ucrania. A pesar de ser el pseudocereal más cultivado a nivel mundial, las cifras de su producción descendieron a casi la mitad en los últimos 10 años, de manera tal que, de las 3.466.735 hectáreas cultivadas en el año 2000, solo se registraron 1.809.098 hectáreas en 2019, debido en parte a que países como China y Ucrania bajaron su nivel de producción. Recientemente Francia ha aumentado el área de cultivo de trigo sarraceno, en tanto que, de acuerdo con la fuente consultada, en el continente americano los únicos países que lo producen en cantidades apreciables, son Estados Unidos, Canadá y Brasil. En cuanto al comercio internacional, los principales países importadores de este pseudocereal son Japón y Papúa Nueva Guinea (FAOSTAT, web: <https://www.fao.org/faostat/es/#search/trigo%20sarraceno>). En nuestro país la producción del trigo sarraceno no ha tenido un alcance significativo, al menos en hectáreas sembradas, sin embargo, se cultiva en pequeñas extensiones para que centros de investigación y universidades puedan realizar trabajos de investigación con este pseudocereal. Son varias las razones que impulsan su estudio, entre ellas su rusticidad, dado que no es atacado por plagas o enfermedades, o al menos así lo reportan quienes lo han cultivado (Ventimiglia y Torrens Baudrix, 2018). Existen dos especies de trigo sarraceno que se utilizan para el consumo humano: el trigo sarraceno común (*Fagopyrum esculentum Moench*) y trigo sarraceno tartárico (*Fagopyrum tataricum*), siendo el trigo sarraceno común la especie de trigo sarraceno más cultivada.

Existen documentos históricos que afirman que la emperatriz Gensho de Japón ordenó el cultivo de trigo sarraceno en todo su país para prepararse para la sequía que lo azotó en el año 722. Este hecho resalta una de sus principales características, la resistencia al déficit de agua (Chancahuaña Alva, 2018). Este pseudocereal es resistente además a suelos de baja calidad, arenosos o ácidos, crece en zonas de elevada altitud (hasta 4500 msnm) (FAO, web: <https://www.fao.org/traditional->

[crops/buckwheat/es/](#)), y al ser un cultivo de verano sensible a las heladas, debe cultivarse luego de las épocas más frías. El trigo sarraceno tiene un ciclo corto de cultivo, que va entre los 60 y 120 días, y puede ser cultivado como segunda cosecha. Otra ventaja que presenta su cultivo, es que supone una baja inversión, ya que no necesita pesticidas ni fertilizantes, aunque la presencia de este último aumenta el rendimiento, sobre todo en suelos pobres.

Las regiones donde podría cultivarse el trigo sarraceno en Argentina son variadas, siendo el sur de Buenos Aires la mejor zona para la siembra. Allí los suelos son fértiles y el clima es muy adecuado. Otras alternativas para establecer estos cultivos, podría ser el norte de Buenos Aires y sur de Santa Fe, o las provincias de Entre Ríos y Corrientes, donde puede obtenerse trigo sarraceno de muy buena calidad. Asimismo, este pseudocereal podría cultivarse en los valles precordilleranos de Neuquén y Rio Negro, siempre y cuando se eviten los períodos de heladas (Dionisi, 2012). Por su excelente adaptación a las zonas agrícolas del país, su facilidad de siembra, la baja inversión requerida y sus excelentes características nutricionales, el cultivo del trigo sarraceno es al menos una alternativa interesante para seguir enriqueciendo el sector agroindustrial de nuestro país.

El trigo sarraceno es una planta anual, que puede medir entre 20 y 80 cm, sus raíces se extienden a poca profundidad, y de su tallo nacen vistosas flores blancas o rosadas que se agrupan en racimos, y hojas de forma sagitada o de corazón (Figura 5a) (Dionisi, 2012). La semilla tiene forma trigonal y su color varía de café a gris o negro (Figura 5c y 5d), mide entre 4-9 mm de largo y de afuera hacia adentro se pueden mencionar la cáscara (pericarpio), el espermodermo o testa, la capa de aleurona, el endospermo y el embrión (Figura 5b) (Martínez-Villaluenga y col., 2020). En las semillas de trigo sarraceno, las reservas de almidón se almacenan en el endospermo como en los cereales comunes, y el embrión con sus dos cotiledones, se extiende a través del endospermo almidonoso (Figura 5b).

El trigo sarraceno se destina esencialmente al consumo humano y es empleado en la gastronomía principalmente en forma de harina. La adición de esta harina a productos formulados a base de trigo común u otros cereales, permite la obtención de alimentos con un perfil nutricional más completo. El grano también puede ser consumido hervido, de una manera similar al arroz. En Rusia y Ucrania el grano hervido, mezclado con mantequilla o leche se conoce como *grechnevaya kasha*. Existen otros platos típicos elaborados con este pseudocereal como es el caso de un tipo de pasta llamado soba en Japón, del *blini* en Rusia, o la *galette bretonne* en Francia. También se usa en panificados sin gluten, galletas y productos de bollería. En diferentes regiones del mundo se emplean también sus raíces y hojas con fines alimenticios.

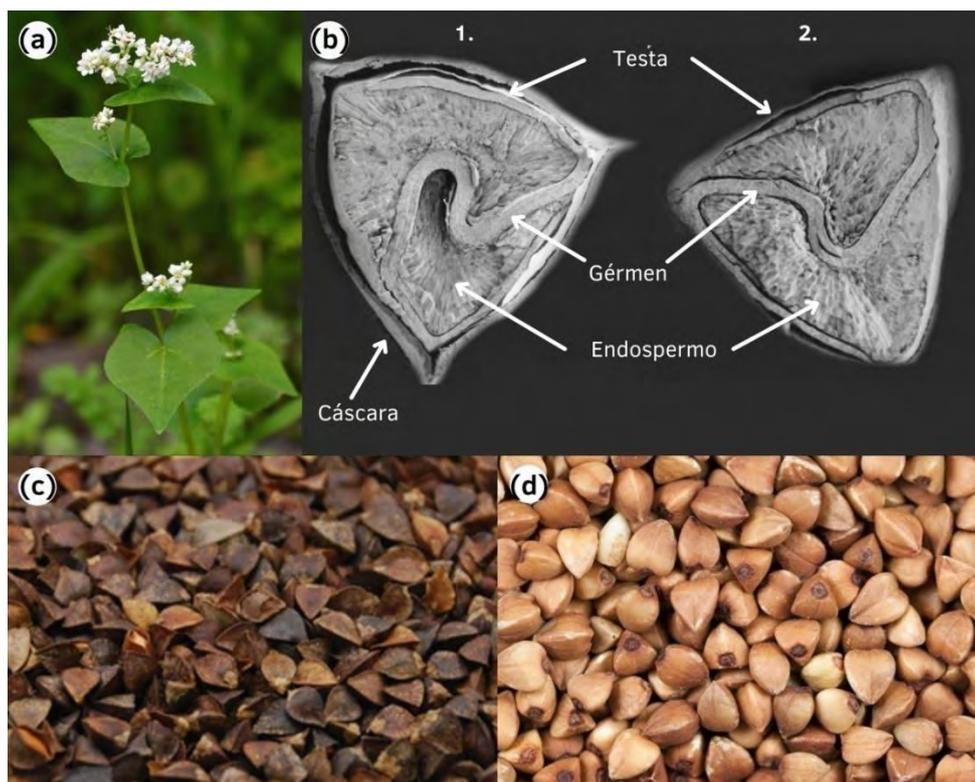


Figura 5. Imágenes de trigo sarraceno. (a) Planta de trigo sarraceno. (b) Micrografía de un corte transversal de una semilla de trigo sarraceno, con cáscara (1) y descascarillada (2). (c) Semilla de trigo sarraceno con cáscara. (d) Semillas de trigo sarraceno descascarillado.

Al igual que los pseudocereales antes descritos, el trigo sarraceno no contiene gluten y posee un alto contenido de proteínas de excelente calidad nutricional, con balance adecuado de aminoácidos esenciales y minerales entre los que se destacan el zinc, el selenio, el cobre y el manganeso entre otros, siendo además un alimento muy bajo en sodio. Si bien el aporte de hidratos de carbono es bastante elevado, estos son en su mayoría hidratos de carbono complejos de lenta absorción, lo que hace que el trigo sarraceno tenga un bajo índice glucémico (Ventimiglia y Torrens Baudrix, 2018). El contenido de fibra dietética es significativamente mayor en las semillas enteras de trigo sarraceno en comparación con el amaranto y la quinoa, que tienen niveles de fibra comparables a los que se encuentran en los cereales comunes (Álvarez-Jubete y col., 2010). Sin embargo, el pericarpio de la semilla tiene una estructura leñosa y en ocasiones es retirado en el procesamiento previo a su consumo. Estas cáscaras están conformadas por fibra, aproximadamente 91% p/p, en su mayoría insoluble (Izydorczyk y col., 2014), por eso la eliminación del pericarpio disminuye drásticamente el contenido de fibra de la semilla.

El trigo sarraceno contiene gran variedad de compuestos polifenólicos, flavonoides y taninos, muchos de ellos poseen capacidad antioxidante y protegen al organismo del estrés oxidativo. El rutósido, un flavonoide con capacidad antiinflamatoria, antihistamínica y antiviral, se encuentra en gran cantidad en esta semilla y es utilizado en tratamientos para la aterosclerosis, la hipertensión y otras

enfermedades degenerativas que tiene alta prevalencia (Fantasía, 2009). Otros compuestos de interés presentes en el trigo sarraceno son los inhibidores termoresistentes de peptidasas que provocan una disminución de la digestibilidad de las proteínas. Es importante señalar que los inhibidores de peptidasas del trigo sarraceno han mostrado reactividad alergénica en algunas personas, quienes han presentado síntomas comunes que incluyen asma, urticaria y shock anafiláctico, por lo cual debe tenerse en cuenta al diseñar alimentos que lo contengan (Alvarez-Jubete y col., 2010).

Recientemente se han demostrado, además, algunas bioactividades hipolipemiantes, antitumoral, inmunorreguladora, antioxidante y neuroprotectora de los polisacáridos constitutivos de estas semillas. Se trata de estructuras químicas ramificadas aun no completamente esclarecidas, constituidas por monosacáridos neutros como glucosa, arabinosa, galactosa, ramnosa, xilosa y manosa, y ácidos como el ácido glucurónico (Accame y Ortega, 2019).

I.1.2 Composición química de pseudocereales

La **Tabla 1** muestra rangos de composición centesimal de trigo y los pseudocereales amaranto, quinoa y trigo sarraceno con fines comparativos. Puede observarse que los valores de composición son similares entre sí, razón fundamental por la cual su comportamiento tecnológico y culinario es también parecido (Alvarez-Jubete y col., 2010). El componente mayoritario en los pseudocereales al igual que en el trigo es el almidón, el cual se encuentra en forma de gránulos formando una estructura semicristalina. Dependiendo del tipo de semilla, estos gránulos pueden variar en tamaño, ubicación dentro del grano y cantidad relativa de amilosa y amilopectina, modificando en menor o mayor medida algunas variables importantes de sus propiedades tecno-funcionales, como su temperatura de gelatinización (Mir y col., 2018). El contenido de proteínas es generalmente mayor en los pseudocereales, aunque éstos no contienen proteínas capaces de formar gluten, tal como se mencionó anteriormente. El gluten es una asociación de proteínas en forma de red, que se crea en presencia de agua y trabajo mecánico por ejemplo al formar una masa, y brinda elasticidad y tenacidad a la misma, siendo un factor clave en la formación de una miga esponjosa y aireada en panificados (Damodaran y col., 2007). La incapacidad para formar esta red de gluten es el principal motivo por el cual la harina de los pseudocereales no es utilizada tradicionalmente en panificados, y representa también un desafío para la industria alimentaria que debe buscar soluciones de calidad para los consumidores que no pueden o no desean consumir productos con gluten.

El contenido de lípidos suele ser mayor en el amaranto y la quinoa, y aunque esto podría significar un mayor riesgo de rancidez oxidativa, que aportaría su característico sabor y aroma desagradable, los

lípidos de amaranto y quinoa son generalmente estables frente a la oxidación, a pesar de su alto grado de insaturación. Esta propiedad se le atribuye al efecto protector de los tocoferoles, presentes en estos pseudocereales en concentraciones relativamente altas (Álvarez-Jubete y col., 2010). El contenido de fibra dietaria reportado, muestra que el rango de valores no difiere entre los pseudocereales y el trigo. El contenido de fibra en cereales y pseudocereales depende en gran medida de si la semilla se encuentra descascarillada o no, ya que la mayor parte de la fibra forma parte de las cubiertas exteriores de las mismas. Tanto las semillas de cereales como de pseudocereales pueden consumirse como granos enteros, en forma de harina integral y en productos elaborados con ella. Si bien el uso de semillas integrales se encuentra en auge, la mayor parte del trigo y el arroz usado para alimentación humana aún se utiliza descascarillado, aportando muy poca cantidad de fibra en la dieta de quienes los consumen.

Tabla 1: Composición centesimal de pseudocereales, amaranto, quinoa y trigo sarraceno, y de trigo (Haros y Schoenlechner, 2017; Serna-Saldívar y Sanchez-Hernandez, 2020).

	Amaranto	Quinoa	Trigo sarraceno	Trigo
Proteínas	14,0-16,5	11,0-16,5	10,9-15,2	11,6-14,3
Carbohidratos	55,1-67,3	64,2-69,0	58,5-69,4	61,0-78,4
Lípidos	5,6-8,8	4,1-7,5	1,3-3,4	1,7-2,3
Fibra	11,1-20,6	6,72-19,7	6,7-29,5	12,6-22
Cenizas	2,8-3,3	2,7-3,8	1,4-3,9	1,4-2,2

Datos expresados como g/100 g de peso seco.

La **Tabla 2** muestra el contenido de algunos minerales presentes tanto en el trigo como en los pseudocereales amaranto, quinoa y trigo sarraceno. Se puede observar que el contenido general de ciertos minerales como el calcio, magnesio y hierro es mayor en los pseudocereales. Tomando como referencia los valores de ingesta diaria recomendada (IDR) de minerales establecida por el el Código Alimentario Argentino (CAA) (**Tabla 2**), se puede inferir que mientras una porción de 50 g de trigo aporta solo el 2% de la IDR de calcio, la misma porción de amaranto aporta 9%. Siguiendo la misma analogía, una porción de 50 g de trigo aporta 19% de la IDR de magnesio para hombres (260 mg/día), mientras que los pseudocereales aportan entre 40% y 54% de la IDR en la misma porción. El amaranto se destaca también en su contenido de hierro, aportando el 16% de la IDR para mujeres (29 mg/día) y el 33% de la IDR para hombres (14 mg/día) en una porción de 50 g. Estos resultados dan la pauta que los pseudocereales pueden ser considerados una buena fuente de minerales, representando su consumo un beneficio en este aspecto, sobre todo para las personas que presenten alguna deficiencia o tengan problemas para alcanzar el nivel adecuado de estos micronutrientes.

Tabla 2: Contenido de minerales de pseudocereales, amaranto, quinoa y trigo sarraceno, y de trigo (Alvarez-Jubete 2010).

	Amaranto	Quinoa	Trigo sarraceno	Trigo	IDR (mg/día)	
					hombres	mujeres
Calcio	180,1	32,9	60,9	34,8	1000	1000
Magnesio	279,2	206,8	203,4	96,4	260	220
Zinc	1,6	1,8	1,0	1,2	7	4,9
Hierro	9,2	5,5	4,7	3,3	14	29

Expresados en mg/100 g de peso seco

I.2 Fibra dietaria

Desde hace ya varios años, la ingesta de fibra dietaria o dietaria ha tomado relevancia en el ámbito de la nutrición humana. Diversos estudios señalan que la fibra no solo tiene un rol importante en el adecuado funcionamiento del intestino, sino que hay evidencia que demuestra que es eficaz en la prevención de enfermedades cardiovasculares, obesidad, diabetes y algunos tipos de cáncer (Almeida-Alvarado y col., 2014).

La Food and Drugs Administration (FDA) propone que los adultos deben consumir 25 g de fibra en una dieta promedio de 2000 kcal/día, mientras que el National Cancer Institute (NCI) considera un consumo óptimo entre 20-30 g/día para la prevención de cáncer de colon, sugiriendo no excederse de los 35 g/día de fibra dietaria (Olagnero y col., 2007). En ese sentido, las estadísticas en nuestro país muestran que estas cantidades no son alcanzadas por la población en general. Los datos obtenidos en la Encuesta Nacional de Nutrición y Salud del año 2007 mostraron que en Argentina el 97,2% de las mujeres de entre 10 y 49 años no llegaban a cubrir la recomendación diaria de ingesta de fibra, con una mediana de 9,39 g diarios. Estos resultados fueron similares en los niños, siendo el 97,8% el porcentaje que no alcanzaba a cubrir las cantidades adecuadas de fibra dietaria (Ministerio de Salud de la Argentina, web: <https://cesni-biblioteca.org/archivos/ennys.pdf>). La OMS recomienda consumir 5 porciones de frutas y verduras, equivalentes a 400 g al día, para cubrir la recomendación de fibra diaria. Pero en Argentina, el consumo de frutas y verduras es de 1,9 porciones por día por habitante, es decir unos 160 g de frutas y verduras por día, por lo que el consumo de fibra es muy inferior a la cantidad propuesta por la OMS (Ministerio de salud y trabajo de Argentina, web: http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Nutricion/fichaspdf/Ficha_33_fibraAlimentaria.pdf). Actualmente existen varias definiciones del término fibra dietaria. Según el CAA “la fibra alimentaria es cualquier material comestible que no sea hidrolizado por las enzimas endógenas del

tracto digestivo humano”, mientras que [Guardiola-Márquez y col. \(2020\)](#) la definen como “aquellas partes comestibles de plantas o carbohidratos similares que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano con fermentación completa o parcial en el intestino grueso”, haciendo hincapié en la capacidad que puede tener la fibra para ser fermentada por los microorganismos presentes en el intestino grueso. En relación con la fibra dietaria, el CAA también establece valores específicos para que un alimento sea considerado fuente o con alto contenido de fibra. En este sentido, un alimento fuente deberá contener como mínimo 3 g de fibra/100 g alimento en el caso de alimentos sólidos o 1,5 g fibra/100 ml en líquidos. El alto contenido de fibra podrá rotularse cuando aporta como mínimo de 6 g fibra/100 g en alimentos sólidos o 3 g fibra/100 ml en líquidos ([Administración Nacional de Medicamentos Alimentos y Tecnología Médica \(ANMAT\)](#), web: https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat_capitulo_v_rotulacion_actualiz_2021-08.pdf).

La fibra está constituida generalmente por compuestos presentes en la pared celular de vegetales, formada por polisacáridos distintos del almidón como componentes principales. La fibra dietaria puede clasificarse en soluble e insoluble de acuerdo a su capacidad de hidratación en agua. La fibra insoluble incluye celulosa y algunas hemicelulosas, entre otros, mientras que la soluble incluye polisacáridos como pectinas, algunas hemicelulosas como β -glucanos, gomas y mucílagos; algunos oligosacáridos e inulina. Además, otros compuestos no digeribles que no son polisacáridos están estrechamente asociados a la fibra dietaria, como la lignina, proteínas resistentes, compuestos fenólicos, ceras, saponinas, fitatos y fitoesteroles ([Quirós-Sauceda y col., 2014](#)). La solubilidad de la fibra está asociada con sus beneficios en la salud. La fibra dietaria soluble (FDS) forma geles de gran viscosidad en contacto con el agua, retardando el vaciamiento gástrico en el estómago y la absorción de nutrientes en los intestinos. Este hecho contribuye a aumentar la saciedad y disminuir la densidad calórica, reduciendo a largo plazo la probabilidad de padecer obesidad ([Vitaglione y Mennella, 2020](#)). El hecho de retardar la absorción de nutrientes evita también que se produzcan picos glucémicos, lo cual es beneficioso en pacientes con diabetes. Además, se ha demostrado que la FDS mejora la sensibilidad a la insulina en pacientes con diabetes tipo 2 y personas sanas ([Torres y col., 2020](#)). Es importante señalar que el consumo de FDS también disminuye los niveles de colesterol en sangre, especialmente el colesterol LDL, reduciendo el riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares ([Morales de la Peña y col., 2020](#)). En este sentido, [Brown y col. \(1999\)](#) analizaron el efecto hipolipemiante de la FDS y concluyeron que las dietas con alto contenido de esta fracción disminuyeron el colesterol total y el LDL sin afectar significativamente los niveles de colesterol HDL ni de triglicéridos. Este efecto podría deberse, en parte, a la asociación de la FDS con los ácidos biliares, los cuales se encargan de solubilizar los lípidos provenientes de los alimentos mediante la formación

de micelas, para que puedan ser absorbidos. La unión con FDS impide la reabsorción de esas micelas y favorece su eliminación por heces. Este hecho también estimula la síntesis en hígado de nuevos ácidos biliares a partir de colesterol, contribuyendo a disminuir sus niveles en sangre (Sánchez Almaraz y col., 2015). Otro aspecto importante de la fibra es su capacidad de ser fermentada en el intestino por los microorganismos presentes en él. El grado de fermentabilidad se encuentra asociado con la solubilidad de la fibra; siendo la fibra soluble aquella con mayor capacidad de ser fermentada. Además, el tamaño de partícula también está estrechamente asociado a la capacidad que tenga la fibra de ser fermentada por los microorganismos, siendo por ejemplo los fructooligosacáridos (solubles y pequeños) muy fermentables mientras que los grandes polímeros de celulosa o lignina pasan por el intestino grueso casi sin ser modificados. Se estima que el 50% de la fibra dietaria es utilizada por los microorganismos intestinales, y el resto es excretado con las heces (Escudero Álvarez y col., 2006). Aquellos polisacáridos solubles capaces de ser fermentados por los microorganismos presentes en el intestino, generan entre otros compuestos, ácidos grasos de cadena corta (AGCC) como acetato, propionato y butirato. La producción de AGCC puede traer una amplia gama de beneficios para la salud, muchos de ellos a nivel intestinal. En el caso del butirato, por ejemplo, contribuye a fortalecer la barrera epitelial intestinal a través de un mecanismo que implica la inducción de la expresión de proteínas de uniones estrechas y su redistribución en la membrana. En este sentido, la pérdida de integridad de la barrera intestinal y el consiguiente aumento de su permeabilidad se asocia a un estado inflamatorio crónico que puede vincularse con patologías como la obesidad, la insulina resistencia y diabetes tipo 2 (Bengoa y col., 2020). Además, la producción de propionato también sería beneficiosa en personas con obesidad ya que inhibe la síntesis de colesterol a nivel hepático, regula la lipogénesis en el tejido adiposo y regula el apetito (Bengoa y col., 2020). La fibra dietaria insoluble (FDI) atravesaría el tracto gastrointestinal sin ser modificada, motivo por el cual la mayoría de los efectos relacionados al consumo de este tipo de fibra están asociados a interacciones mecánicas (Torres y col., 2020). La FDI tiene la capacidad de retener agua y agregar volumen a las heces, mejorando la regularidad intestinal. Además, puede actuar como una barrera física, por lo que podría reducir la velocidad en que transitan los productos digestivos a través del borde en cepillo de los enterocitos, disminuyendo así la densidad calórica (Torres y col., 2020). Esta propiedad de la FDI dificulta también la absorción de otros componentes como el colesterol y estimula su excreción por vía fecal. Diversos estudios han demostrado que la fracción de lignina, que se encuentra con mayor frecuencia en las capas externas de las semillas, muestra cierta influencia en la unión de los ácidos biliares, lo que supone una disminución en los niveles de colesterol sanguíneo (Dziedzic y col., 2012). La FDI también contribuye a disminuir la concentración y el tiempo de contacto de potenciales compuestos carcinogénicos con la mucosa del colon, por lo que se le atribuye la propiedad de disminuir el riesgo de contraer cáncer

de colon (Olagnero y col., 2007). Con respecto a otros tipos de cáncer, algunos estudios señalan que la ingesta de fibra dietaria total o insoluble procedente de las legumbres disminuye el riesgo de contraer cáncer de próstata, mientras que la ingesta de fibra dietaria soluble, disminuye el riesgo de contraer cáncer de mama (Sánchez Almaraz y col., 2015).

La FDA establece que un balance adecuado de fibra dietaria disminuye el riesgo de padecer enfermedad coronaria. Este balance se alcanza cuando un 25-30% de la fibra dietaria total consumida es soluble, o en otras palabras, cuando la correlación FDI/FDS es cercana a 3. Es importante comprender que un consumo equilibrado de ambas fracciones de fibra dietaria es recomendable para obtener los máximos beneficios de estos compuestos (Morales de la Peña y col., 2020).

I.3 Probióticos, prebióticos y simbióticos

El tracto gastrointestinal humano alberga una enorme cantidad de microorganismos que se asocian de manera simbiótica con el huésped y cumplen varias funciones, entre las que podemos mencionar la utilización de algunos componentes no digeribles, transformándolos en otros componentes muchas veces beneficiosos para la salud. La presencia de microorganismos también está asociada a funciones de mantenimiento de la barrera epitelial, regulación del metabolismo del huésped, síntesis de vitaminas y aminoácidos, prevención de la colonización de patógenos, maduración y regulación del sistema inmunológico, modulación de la liberación de hormonas gastrointestinales y regulación del comportamiento cerebral (Senés-Guerrero y col., 2020). Ciertos microorganismos pueden ser adicionados a los alimentos o suplementos dietarios con el fin de ejercer un efecto positivo en la salud. Estos microorganismos, llamados probióticos, deben ser capaces de resistir el paso a través del tracto gastrointestinal e instalarse en el intestino, para luego proliferar. La International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) define a los probióticos como "cepas vivas de microorganismos estrictamente seleccionados que, cuando se administran en cantidades adecuadas, confieren un beneficio para la salud del huésped" (Hill y col., 2014). Aquellos alimentos que contienen probióticos se incluyen en la categoría de alimentos funcionales. Los microorganismos más utilizados son las especies bacterianas *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* y *Bifidobacterium spp*, normalmente llamadas bacterias acidolácticas (BAL- actualmente la nomenclatura de ciertos microorganismos del género *Lactobacillus* se ha modificado (Zheng y col., 2020)- Anexo 1). Sin embargo, hay numerosas especies de microorganismos probióticos, entre las que se incluyen algunas de los géneros *Lactococcus spp.*, *Streptococo spp.*, *Bacillus coagulans*, *Escherichia coli* cepa Nissle

1917, *Enterococcus faecium* y algunas cepas de levadura del género *Saccharomyces* (Senés-Guerrero y col., 2020).

Tanto los probióticos como cientos de especies microbianas presentes en el intestino, utilizan la fibra que obtienen de los alimentos ingeridos por el huésped. Algunos tipos de fibra favorecen selectivamente el crecimiento de colonias de microorganismos benéficos para el organismo. A este tipo de fibras se las conoce como prebióticos y la ISAPP las describe como “Sustratos que son selectivamente utilizados por los microorganismos del huésped, y confieren un beneficio para la salud” (Gibson y col., 2017). Esta definición es amplia, y no solo incluye a los carbohidratos no digeribles de la dieta, sino también a otro tipo de sustratos. Además, incluye a los microorganismos presentes en todo el organismo humano, no solo los que habitan el tracto gastrointestinal. Los prebióticos y los probióticos buscan mejorar la salud del huésped mediante la modulación de la flora intestinal. En este sentido, la investigación enfocada en el desarrollo de alimentos más saludables, promueve el surgimiento de nuevos alimentos funcionales, entre ellos los denominados simbióticos, los cuales se definen como “una mezcla de probióticos y prebióticos destinada a aumentar la supervivencia de las bacterias que promueven la salud, con el fin de modificar la flora intestinal y su metabolismo” y el término debe reservarse exclusivamente para los productos que poseen verificación científica de la simbiosis, es decir, en los cuales los prebióticos favorecen selectivamente a los probióticos adicionados en este simbiótico en particular (Olagnero y col., 2007).

Resulta importante hacer hincapié en el hecho de que la promoción e incorporación de pseudocereales en productos industrializados no solo agregaría nutrientes indispensables a la dieta de las personas que los consuman, sino que también contribuiría a la diversidad de las materias primas. Su ingesta podría favorecer a la salud a los consumidores, aportaría beneficios a la economía regional de los sectores que producen los pseudocereales, contribuiría a la soberanía alimentaria de las poblaciones y permitiría que las personas puedan elegir alimentos que no solo los nutran, sino que sean también adecuados para su condición de salud y coincidentes con sus ideologías.



**Hipótesis
y
Objetivos**

Hipótesis

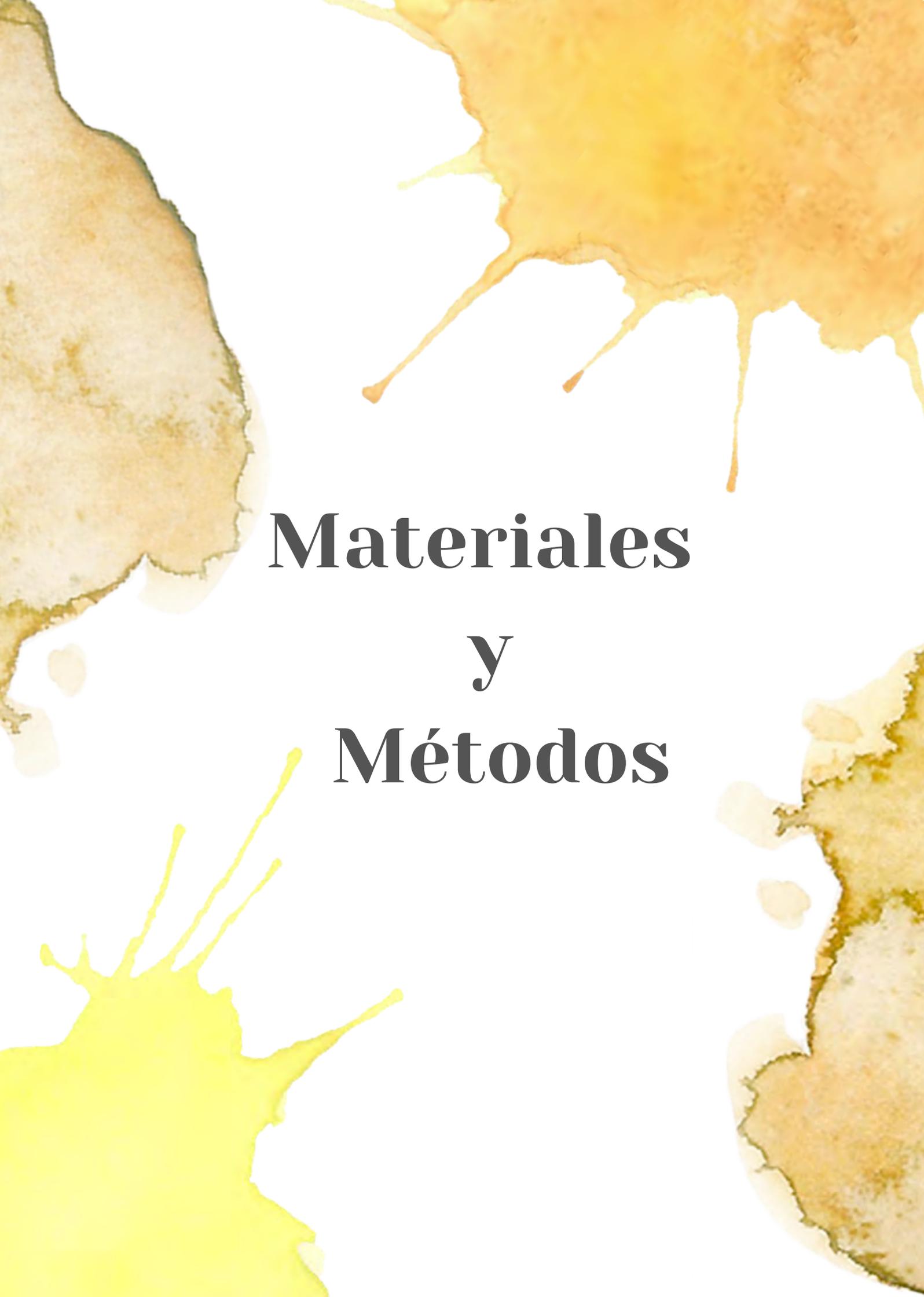
Hasta la actualidad, la estructura de la fibra dietaria de pseudocereales como el amaranto, la quinoa y el trigo sarraceno, y su relación con las propiedades fisicoquímicas y fisiológicas de los componentes que las conforman no han sido objeto de un estudio exhaustivo. Una mejor comprensión de estos aspectos aportaría información valiosa para el desarrollo de alimentos a base de estos pseudocereales que tengan la capacidad de ejercer un potencial efecto prebiótico en quien los consuma. En función de esto postulamos como hipótesis de trabajo que existe una relación directa entre la estructura química de los componentes que integran la fibra dietaria presente en los pseudocereales y su potencial efecto prebiótico, así como también sobre las propiedades fisicoquímicas que presentan los productos elaborados con los mismos.

Objetivo general

Los cultivos de amaranto, de trigo sarraceno y de quinoa son de producción reducida y desarrollo agroindustrial escaso en Argentina. Su comercialización es muy difícil debido a la falta de consumo masivo y a la ausencia de un mercado referencial para estos pseudocereales. Considerando que en los últimos tiempos se le ha dado una importancia significativa al desarrollo de ingredientes y alimentos funcionales benéficos para la salud del consumidor, y que desarrollar productos empleando estos pseudocereales podría ser de gran relevancia económica para el país, se propone visualizar y adquirir nuevas perspectivas sobre la presencia de fibra dietaria con potencial efecto prebiótico en granos de amaranto, quinoa y trigo sarraceno, y analizar la relación que existe entre la estructura de la fibra dietaria y su funcionalidad, de modo de favorecer una mayor explotación de los pseudocereales para futuras aplicaciones en la industria alimentaria.

Objetivos específicos

- Realizar una búsqueda bibliográfica exhaustiva y precisa sobre las principales características de la fibra dietaria de amaranto, quinoa y trigo sarraceno.
- Comparar la fibra dietaria contenida en estos pseudocereales con aquellas de otras fuentes comunes como cereales, frutas y verduras.
- Profundizar acerca de la relación que pueda establecerse entre la composición y estructura de la fibra dietaria de estos pseudocereales con su potencial efecto prebiótico.
- Evaluar el consumo de amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno, y de alimentos formulados a base de los mismos a nivel nacional.
- Evaluar la factibilidad del desarrollo de una matriz alimentaria con potencial efecto prebiótico, formulada a partir de amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno.

The background features several watercolor splashes. A large, irregular brown splash is in the top right. A smaller, lighter brown splash is on the left. A bright yellow splash is in the bottom left. Another brown splash is on the right side, partially overlapping the text.

Materiales y Métodos

Materiales y métodos

En los Capítulos 1 y 2 se realizó un estudio exhaustivo de tipo narrativo, referente a la estructura de la fibra dietaria contenida en amaranto, quinoa y trigo sarraceno, haciendo énfasis en la relación que pueda establecerse entre sus componentes y su potencial efecto prebiótico. Se destacan los resultados obtenidos por diferentes investigadores/as a través de búsquedas bibliográficas llevadas a cabo en las bases de datos Google Scholar, Scopus, Scielo, Research Gate, PubMed, Science Direct, Elsevier Journals, Springer Journals, Sci-Hub y repositorios digitales de universidades e instituciones nacionales (UNLP, CONICET, CIC), entre otras. La estrategia de búsqueda estuvo canalizada en función de la robustez de la información consultada, el análisis objetivo de la temática y el alcance de la misma. En el Capítulo 3 se procedió a realizar un estudio exploratorio, con un enfoque cualitativo y cuantitativo mediante la realización de una encuesta a través de la plataforma “Formularios de Google” abierta a la comunidad, donde se alcanzaron los 425 encuestados. La misma se realizó en el mes de mayo del 2023 y tuvo como objetivo principal recopilar información que permita describir e identificar hábitos de consumo relacionados con la incorporación de granos de amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno a sus dietas. Los resultados obtenidos se recopilaron en planillas Excel para su tabulación y se realizó un análisis de los datos recogidos para lograr una adecuada interpretación de los mismos. Por otro lado, se realizó también en el mes de mayo del 2023 una segunda encuesta mediante la plataforma “Formularios de Google” a diferentes comercios comprendidos dentro del rubro dietéticas y tiendas naturales (19 encuestas). Las mismas buscaban reunir información acerca de la oferta de pseudocereales en Buenos Aires y comprender aspectos relacionados con su comercialización.

Capítulo 1

La fibra en los pseudocereales y su comparación con la de otras fuentes.

C1.1 Pared celular vegetal

Los componentes de la fibra dietaria se encuentran en su mayoría formando parte de la pared celular. Ésta es la encargada de dar forma y resistencia a la célula vegetal, como una de sus principales funciones, y su composición química depende, entre otros factores, del estado de maduración de la célula. La pared celular está constituida por una mezcla compleja de polisacáridos y otros polímeros, ensamblados en una red tridimensional organizada, también llamada matriz, la cual contiene además proteínas estructurales, enzimas, polímeros fenólicos y otros materiales que modifican las características físicas y químicas de la pared. Dependiendo del tipo de tejido vegetal que formen las células, la pared puede variar en su grosor, el entrelazado de la matriz, y la proporción y tipo de moléculas que se encuentran en ella (Santana Artiles, 2016).

La pared celular no es una estructura uniforme, sino que se encuentra conformada por varias capas (**Figura 6a**). La lámina media es la más externa, su función es unir dos células vegetales adyacentes y está formada esencialmente por sustancias pécticas, especialmente pectato de calcio y otros polisacáridos que actúan como adhesivos. Esta estructura se forma cuando las células se están dividiendo, más específicamente en la telofase, la etapa final del proceso de división, donde se divide el citoplasma (Chuncho y col., 2019). La pared primaria se desarrolla al finalizar la división celular sobre la membrana citoplasmática de las células y perdura durante todo su crecimiento, es delgada (1-3 micras de grosor) y está poco especializada. La pared primaria está conformada principalmente por un gran número de moléculas de celulosa asociadas en forma de microfibrillas y dispuestas en una matriz, la cual contiene además hemicelulosa y sustancias pécticas (**Figura 6b**). A medida que nos vamos acercando al citoplasma, las sustancias pécticas van disminuyendo paulatinamente. Una pared celular primaria típica de una planta dicotiledónea está formada por 25-30% de celulosa, 15-25% de hemicelulosa, 35% de pectina y 5-10% de proteínas (extensinas y lectinas) (Chuncho y col., 2019). A medida que cesa el crecimiento celular, en algunas células puede formarse una pared secundaria mucho más gruesa y fuerte, que se ubica debajo de la pared primaria. El engrosamiento comienza con el depósito de xilanos y lignina en la pared primaria preexistente y se fortalece mediante la inclusión de láminas de microfibrillas celulósicas orientadas en diferentes direcciones, pudiendo llegar a medir entre 5-10 micrones. Su composición y estructura puede variar ampliamente dependiendo del tejido y su función, aunque se compone principalmente de celulosa, xilanos ácidos, lignina y pequeñas cantidades de glucanos (Ayala Soto y Serna Saldívar, 2020).

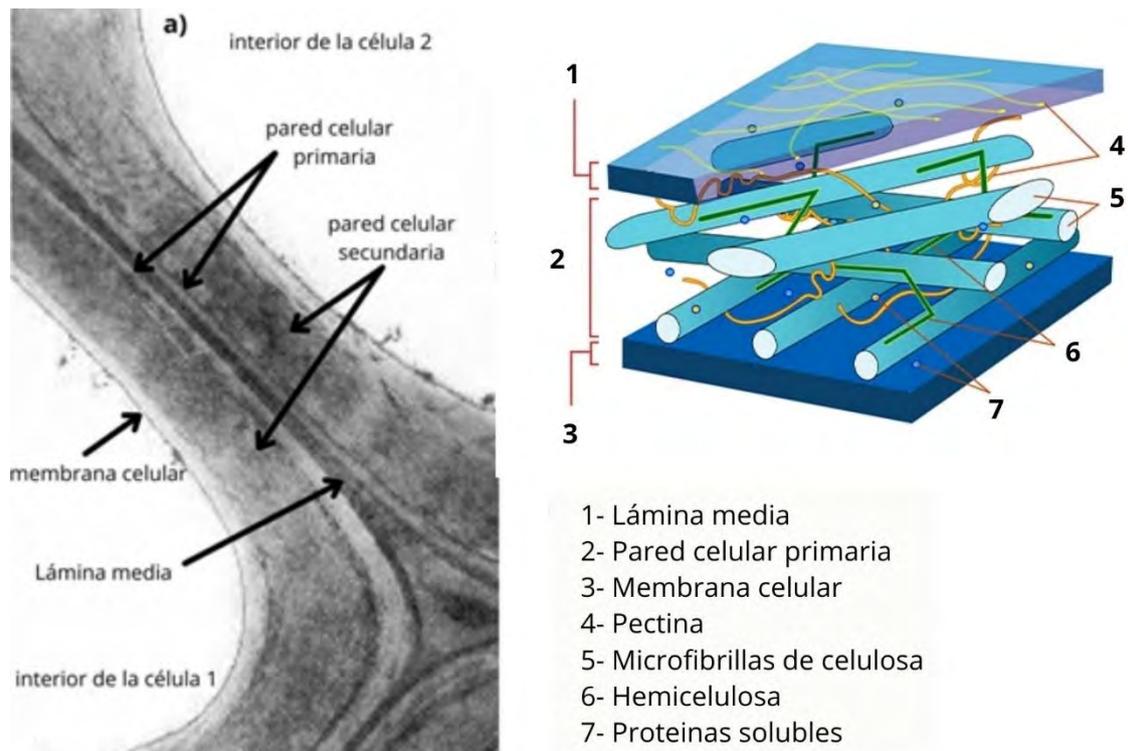


Figura 6. a) Micrografía de la pared celular vegetal. b) Esquema de pared celular y principales componentes.

C1.2 Principales componentes de la fibra dietaria

Celulosa

Químicamente, la celulosa es un polisacárido lineal que consta de moléculas de D-glucosa unidas por enlaces β -D (1-4) (**Figura 7**). El grado de polimerización en la celulosa es muy variable, encontrándose moléculas formadas por 2000 a 6000 unidades cuando se asocian a paredes celulares primarias o hasta 15000 unidades cuando se asocian a paredes celulares secundarias (Serna Saldívar y Ayala Soto, 2020). Cada resto presenta una rotación de 180° respecto a los adyacentes, lo que permite una mejor estabilización por puentes de hidrógeno intramoleculares y les confiere a las cadenas lineales de celulosa la propiedad de ser inflexibles (Santana Artiles, 2016). Debido a su estructura, estos polímeros lineales se unen entre sí de forma paralela mediante puentes de hidrógeno intermoleculares, formando microfibrillas con zonas de estructura cristalina altamente ordenada, intercaladas con algunas aéreas amorfas, con menor nivel de organización (Coffey y col., 2006). Aunque generalmente los puentes de hidrógeno son una forma de interacción débil, la gran cantidad de enlaces formados produce una estructura molecular tridimensional, de naturaleza hidrofóbica, que demuestra una resistencia al ataque químico o enzimático mucho mayor que la que muestran las cadenas de glucosa

individuales (Chesson, 2006), presentando también mayor resistencia a la degradación microbiológica. Solo ciertos hongos y bacterias sintetizan complejos enzimáticos capaces de descomponer estas moléculas de alto peso molecular, los cuales contienen endo y exocelulasas, y β -glucosidasas (Serna Saldívar y Ayala Soto, 2020). A su vez las microfibrillas pueden asociarse entre sí, formando estructuras mayores, o con otros compuestos como hemicelulosa, pectina y lignina formando matrices fuertemente hidratadas con elevada resistencia mecánica.

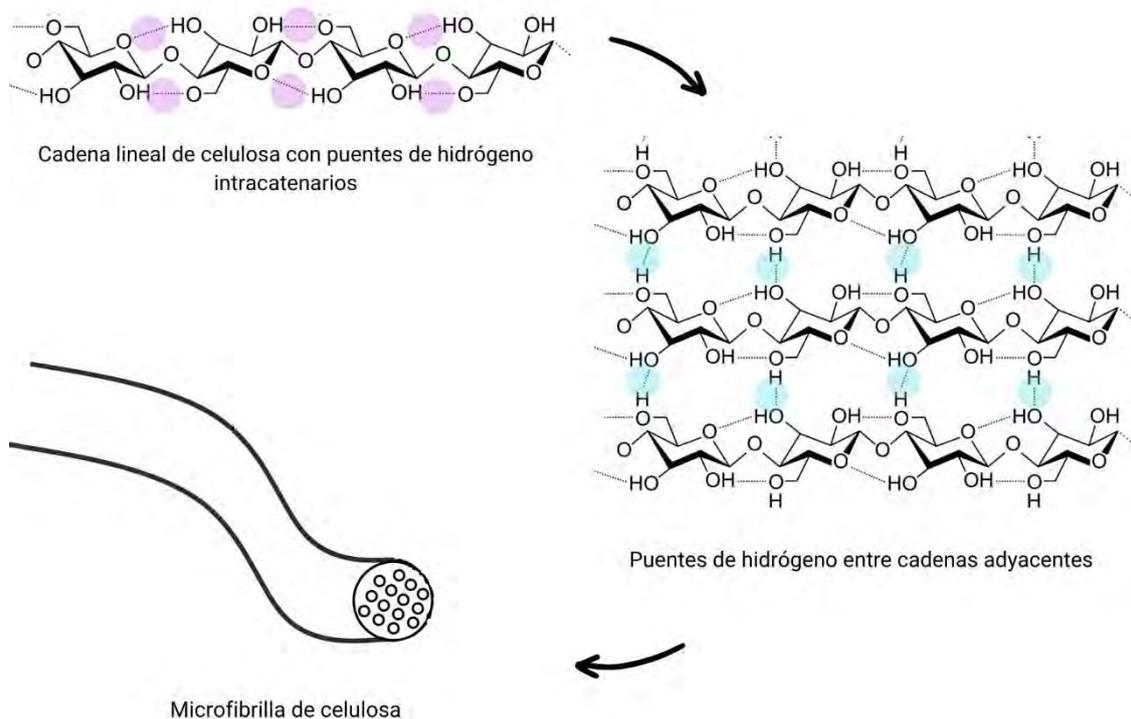


Figura 7. Estructura de la celulosa.

Hemicelulosa

Las hemicelulosas son un grupo muy heterogéneo de polisacáridos que se componen de una cadena lineal relativamente larga de monómeros, la cual puede tener como sustituyentes cadenas laterales cortas. Su peso molecular es mucho menor al de la celulosa y en general son más solubles, aunque sus características fisicoquímicas como solubilidad, viscosidad y propiedades gelificantes son variables ya que están estrechamente relacionadas con su estructura química, tamaño molecular, interacción molecular y disposición espacial. El tipo de hemicelulosas que pueden encontrarse en las paredes celulares pueden variar en función de los tejidos que integran, el estado de desarrollo y la especie vegetal (Santana Artiles, 2016). La función biológica más importante de las hemicelulosas es su contribución al fortalecimiento de la pared celular mediante la interacción con las microfibrillas de

celulosa y, en algunos casos, con la lignina. Se conocen al menos 250 de estos polímeros, que pueden clasificarse en xiloglucanos, xilanos, mananos, glucanos y β -(1-3,1-4) glucanos. Las hemicelulosas están presentes en las paredes celulares de todas las plantas terrestres, excepto los β -(1-3,1-4) glucanos, que se limitan principalmente a *Poales*, donde pertenecen los cereales monocotiledóneos (Serna Saldívar y Ayala Soto, 2020). Las unidades de monosacáridos que componen las hemicelulosas pueden incluir xilosa, arabinosa, galactosa, manosa, glucosa, ácido glucurónico y ácido galacturónico. A diferencia de la celulosa, las cadenas de hemicelulosa pueden hidrolizarse química o enzimáticamente con más facilidad, y lo que es más importante, tienen mayor fermentabilidad y potenciales efectos prebióticos (Lineback, 1999).

Los xilanos son hemicelulosas muy abundantes, están constituidos por una cadena lineal de β (1-4)-D-xilosa sustituidos en mayor o menor medida por arabinosa, ácido glucurónico o ácido metilglucurónico. Los arabinoxilanos son aquellos xilanos sustituidos mayormente por cadenas laterales de arabinosa (**Figura 8a**), son abundantes en las paredes celulares del endospermo de los cereales como el centeno, el trigo, el maíz y el arroz. Su solubilidad en agua aumenta con el aumento de sustituciones de arabinosa, pero también está influenciada por la unión a otros polímeros de la pared celular (Serna Saldívar y Ayala Soto, 2020). Son considerados potencialmente prebióticos y ciertos estudios han demostrado que, como consecuencia de ello, estimulan y mejoran el sistema inmune del huésped (Mendis y Simsek, 2014), además de poseer el potencial de reducir la síntesis de colesterol y mejorar la sensibilidad a la insulina (Van Den Abbeele y col., 2011).

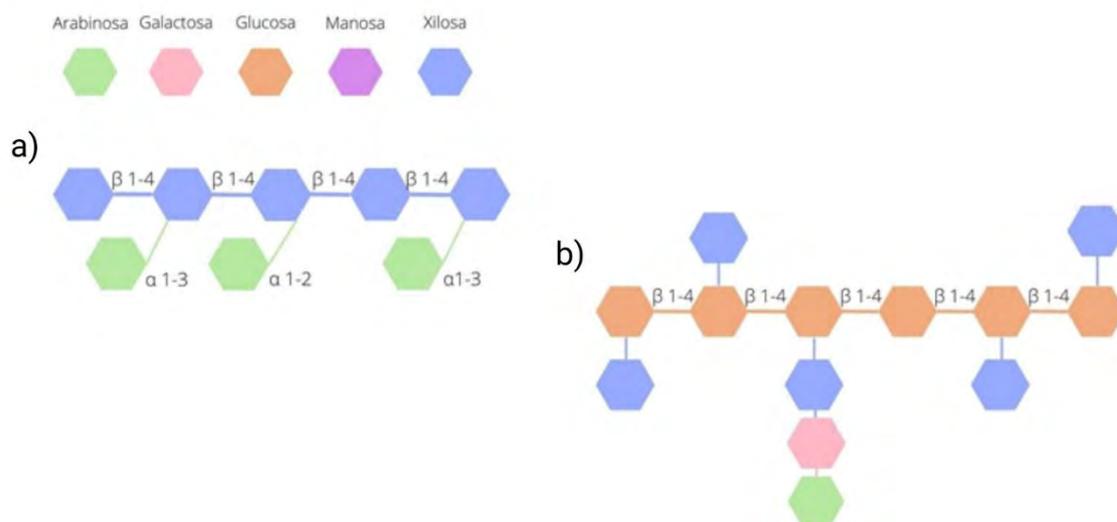
Los xiloglucanos constituyen entre un 20-25% de las paredes celulares en dicotiledóneas, tienen cadenas principales lineales de D-glucopiranosas unidas por enlace β - (1-4) similares a la celulosa, pero contienen numerosas unidades de xilopiranosilo unidas a lo largo de la cadena principal (**Figura 8b**), y pequeñas cantidades de galactosa y arabinosa. Los xiloglucanos más ramificados presentan una mayor solubilidad, y esto puede correlacionarse con aquellas funcionalidades como la capacidad para ser fermentada y formar geles (Serna Saldívar y Ayala Soto, 2020).

Los mananos están constituidos principalmente por unidades de manosa unidas por enlace β - (1-4) (**Figura 8c**), las cuales pueden estar ramificadas y pueden también contener otros azúcares como galactosa o glucosa (**Figura 8d**). Se dividen a grandes rasgos en galactomananos y glucomananos, y se encuentran en plantas superiores, algas marinas y levaduras, donde sirven como polisacáridos de almacenamiento. No son componentes habituales en paredes celulares primarias, aunque sí en paredes secundarias de muchas especies vegetales (Santana Artiles, 2016). Los galactomananos, como la goma guar o la goma garrofín son polisacáridos de reserva habitualmente encontrados en paredes celulares de semillas y leguminosas, tienen la particularidad de formar una estructura rígida que

aporta dureza cuando la semilla se encuentra seca, pero al entrar en contacto con el agua forman geles con alta viscosidad (Gidley y Reid, 2006).

Los β -glucanos comprenden un grupo de polisacáridos compuestos por moléculas de β -D-glucosa que se encuentran en las paredes celulares de cereales, bacterias, algas, levaduras y hongos, con propiedades químicas significativamente diferentes dependiendo de la fuente donde se encuentren (Serna Saldívar y Ayala Soto, 2020). En ellos, los monómeros de glucosa se encuentran unidos por enlaces glucosídicos en β -(1-3), (1-4) y/o (1-6), ya sea de forma ramificada o no ramificada. Los (1-3; 1-4) β -glucanos son los polisacáridos no amiláceos predominantes en cereales como trigo, avena, cebada, centeno y mijo, donde representan del 3% al 6% de los hidratos de carbono totales (Gupta y col., 2010). Estos glucanos son polímeros lineales no ramificados en los que los residuos de glucosa están unidos por enlaces tanto (1-3) como (1-4) (Figura 8e), dispuestos de forma no aleatoria (Stone, 2009). La estructura del (1-3; 1-4)- β -glucano se parece a la de la celulosa, con la única diferencia de que el enlace β -(1-3) establece un giro en la cadena. Este fenómeno de torsión da estabilidad al polímero y disminuye su capacidad para formar agregados, por lo que la solubilidad aumenta significativamente con respecto a la que presenta la celulosa (Ahmad y col., 2012). Los (1-3; 1-4)- β -glucanos son solubles en general, pero las diferencias estructurales hacen que por ejemplo los β -glucanos presentes en la avena y el centeno sean más solubles que los presentes en el trigo (Stone, 2009).

Los galactanos son polisacáridos formados por cadenas de galactosa unidas por enlace β -(1-3) (Figura 8f). Es común que estén sustituidos con arabinosa, por eso también suele utilizarse el término arabinogalactanos para referirse a ellos (Holtzapfel, 2003).



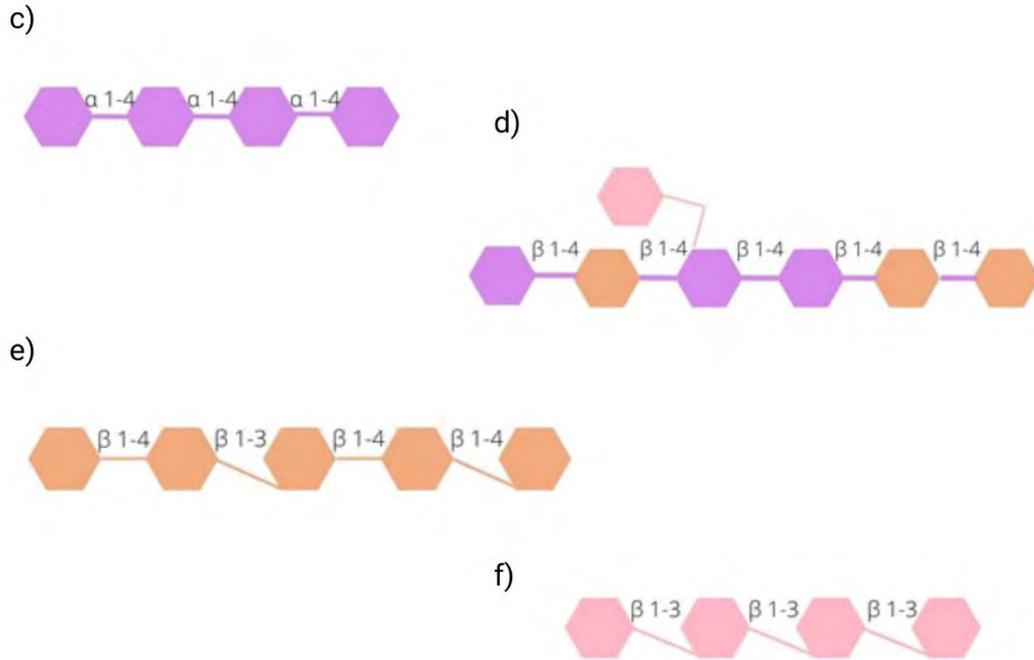


Figura 8. Estructura de las diferentes hemicelulosas. (a) Arábinoxilano. (b) Xiloglucano. (c) Manano. (d) glucomanano (e) (1-3; 1-4) β -glucano (f) Galactano.

Lignina

Las ligninas son biopolímeros complejos, considerados los segundos más abundantes en el reino vegetal luego de la celulosa, y representan aproximadamente el 30% del carbono orgánico de la biosfera. Tienen la función de aportar resistencia mecánica, rigidez y proteger a las plantas de posibles patógenos (Boerjan y col., 2003). Su estructura es difícil de definir, ya que forma patrones complejos con proteínas y carbohidratos, que además dependen en gran medida del tipo de planta, la madurez y el tipo de tejido en el que están incluidos. A grandes rasgos, estos biopolímeros son de naturaleza polifenólica (Figura 9), y están compuestos por unidades de fenilpropano formando una matriz a base de la condensación de tres alcoholes fenólicos primarios (Matos-Chamorro y Chambilla-Mamani, 2010). Estas unidades forman estructuras aleatorias que se depositan en mayor medida en las paredes celulares secundarias en un proceso llamado lignificación. Durante este proceso, la lignina va llenando los huecos libres que dejan la celulosa y hemicelulosas, formando enlaces con componentes hemicelulósicos y eliminando gradualmente agua, lo que genera un ambiente hidrofóbico, que impermeabiliza la pared celular, y aporta resistencia a la hidrólisis química y enzimática (Serna Saldívar y Ayala Soto, 2020). La lignina contiene grupos hidroxilo y otros grupos polares capaces de formar puentes de hidrógeno intra e intermoleculares, lo que la hace fuertemente insoluble, sin embargo, una pequeña fracción de la lignina puede ser solubilizada (Serna Saldívar y Ayala Soto, 2020).

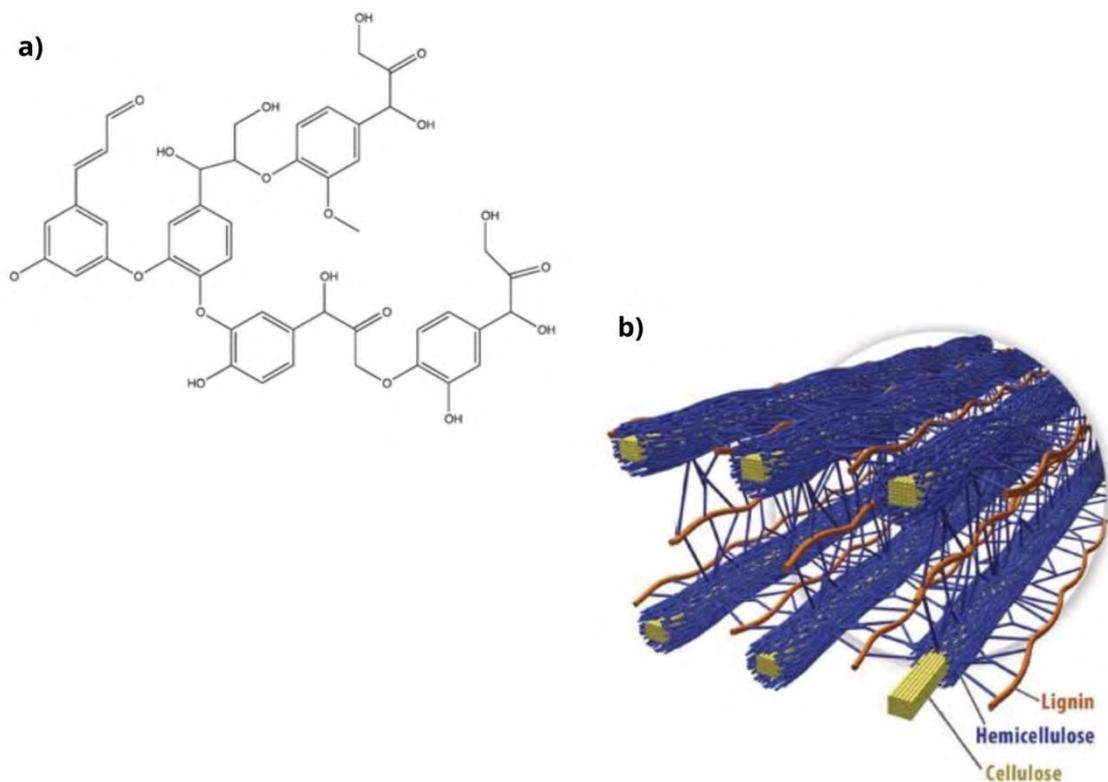


Figura 9. a) Estructura simplificada de la lignina. b) Disposición espacial de la lignina junto con la celulosa y la hemicelulosa en las paredes vegetales.

Pectinas

Las pectinas son una familia de polisacáridos estructurales solubles constituida principalmente por ácido α -D-galacturónico, el cual representa aproximadamente el 70% del total, y se une formando cadenas de longitud variable mediante enlaces glicosídicos α -(1-4) (**Figura 10**) (Mohnen, 2008). Estas cadenas pueden estar formadas solo por ácido galacturónico lineal, homogalacturonanos (HG), o pueden también contener ramnosa. Existen al menos dos estructuras típicas que contienen ramnosa, ramnogalacturonano I (RG-I) y ramnogalacturonano II (RG-II), las cuales difieren en su estructura, tipos de enlace y complejidad. El RG-I contiene un esqueleto en el que se repite el disacárido $[\alpha$ -D-galacturónico-1,2- α -L-ramnosa-1,4-] $_n$, y contiene también cadenas laterales que pueden ser arabinanos, galactanos y/o arabinogalactanos (Mohnen, 2008). Por su parte, el RG-II consiste en una cadena de HG de al menos 8 residuos de ácido galacturónico con enlace α -(1-4) unidos a 4 cadenas laterales poliméricas que además de los azúcares frecuentes como arabinosa y ramnosa, también presentan otros menos abundantes como apiosa o ácido acérico (Mohnen, 2008).

Las pectinas son macromoléculas que contienen una gran cantidad de grupos carboxílicos ionizables provenientes de los ácidos galacturónicos, por lo tanto, son polielectrolitos aniónicos que tienen una fuerte afinidad por cationes pequeños. Estos grupos carboxilo pueden estar esterificados con metanol

(Figura 10) en mayor o menor medida. Aquellas pectinas que poseen más del 50% de esterificación son denominadas de alto metoxilo, y aquellas con un grado de esterificación menor, se las denomina de bajo metoxilo (Matos-Chamorro y Chambilla-Mamani, 2010). Esta diferencia estructural influye en su densidad de carga lineal y, por lo tanto, en su comportamiento fisicoquímico. Por ejemplo, su solubilidad es mayor cuanto mayor es el grado de esterificación, y de forma inversa, su afinidad por los cationes disminuye al aumentar el grado de esterificación (Serna Saldívar y Ayala Soto, 2020). Las sustancias pécticas se encuentran en las células vegetales formando parte de la lámina media y la pared primaria, unidas generalmente a otras moléculas como celulosa, hemicelulosa y lignina. Aunque se encuentran en diversos tejidos, son particularmente abundantes en frutos y tejidos jóvenes (Da Silva y Rao, 2006). Si bien, su solubilidad es variable, la pectina contenida en la lámina media de las paredes celulares es insoluble, considerándose un pectato de calcio (Popa, 2011).

Las principales funciones de los polímeros pécticos son la adhesión entre células contiguas. Además, tienen influencia en el crecimiento, morfogénesis, defensa, estructura y porosidad de la pared, señalización, expansión celular, unión de iones, factores de crecimiento y enzimas, hidratación de la semilla y desarrollo de frutos (Mohnen, 2008). Las pectinas tienen también propiedades nutricionales y tecnológicas relevantes para la industria alimentaria, principalmente por su potencial prebiótico y su capacidad para formar geles (Serna Saldívar y Ayala Soto, 2020).

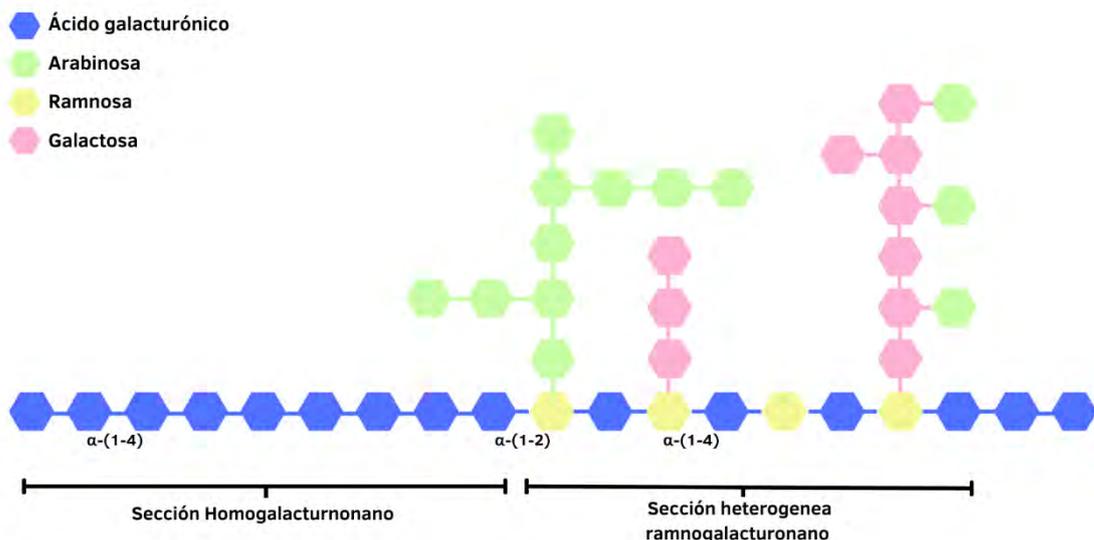


Figura 10. Estructuras básicas de los componentes de la pectina.

Fructanos

Los fructanos son carbohidratos de reserva presentes en muchas plantas, que también cumplen la función de mejorar la tolerancia al frío y la sequía. Luego del almidón, son los polisacáridos no

estructurales más abundantes en la naturaleza, y pueden clasificarse en inulinas, levanos y gramminanos (Franck, 2006). Los fructanos más ampliamente estudiados y de mayor uso a nivel industrial son la inulina, la oligofruktosa y los fructooligosacáridos (FOS). Todos ellos presentan una estructura predominantemente lineal, y están constituidos por moléculas de fructosa unidas por enlaces β -(2-1) fructosil-fructosa que terminan con una unidad de glucosa vinculada por un enlace α -(1-2) conocido como residuo β -D-glucopiranosil (**Figura 11a**), aunque el monómero terminal de la cadena puede ser también un residuo D-fructopiranosil (**Figura 11b**) (Castellanos y col., 2017). Las diferencias entre estos tres tipos de compuestos radican fundamentalmente en su tamaño, siendo la inulina el compuesto con el mayor grado de polimerización. Los FOS y la oligofruktosa son muy similares, pero con diferencias estructurales asociadas a sus diferentes orígenes, siendo la oligofruktosa producto de la hidrólisis enzimática de inulina mientras que los FOS provienen de la transfructosilación de sacarosa (Madrigal y Sangronis, 2007). Además, las cadenas de las moléculas de la oligofruktosa son más largas (entre 2-9 monómeros) que las cadenas de los FOS (entre 2-4 monómeros), y estos últimos poseen sin excepción una molécula de glucosa terminal, mientras que en la oligofruktosas esto no es necesariamente así (Madrigal y Sangronis, 2007). Los fructanos mencionados son relativamente solubles en agua y permanecen intactos en el tracto gastrointestinal superior. Al llegar al colon son totalmente utilizados por las bacterias ejerciendo un efecto prebiótico sobre la microbiota del hospedador. Por este motivo, la inulina, los FOS y la oligofruktosa son utilizados como ingredientes de alimentos funcionales. Además de los beneficios a la salud, estos compuestos poseen algunas cualidades tecnológicas interesantes como cierto poder edulcorante y capacidad de formar geles, aportando cuerpo y palatabilidad a determinados alimentos, pudiendo reemplazar en cierta medida a la materia grasa o azúcares (Castellanos y col., 2017).

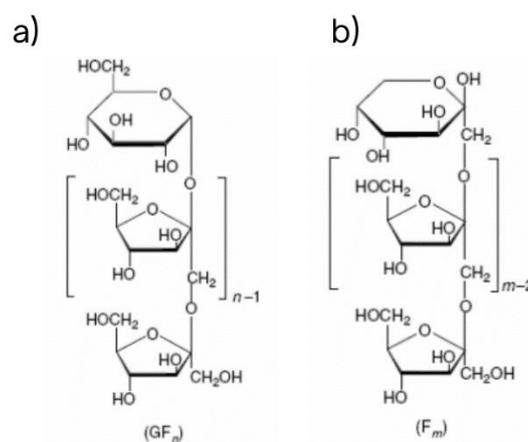
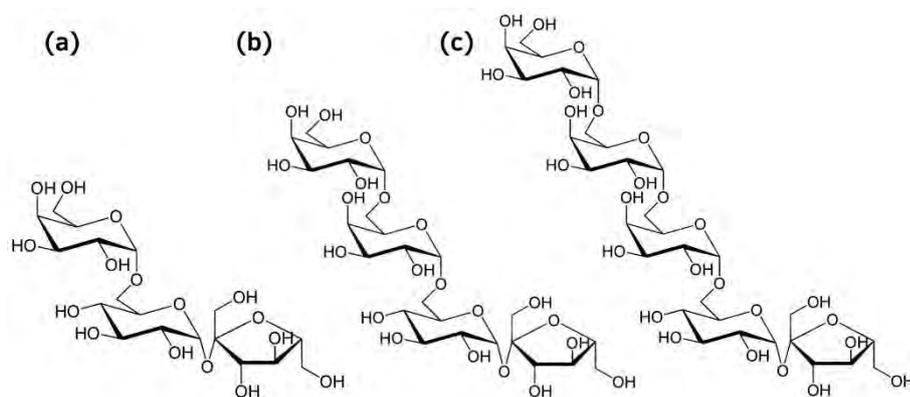


Figura 11. Estructura básica de la inulina. a) inulina con residuo glucopiranosil terminal. b) inulina con residuo fructopiranosil terminal.

Otros oligosacáridos

Los oligosacáridos son secuencias cortas de azúcares, formadas por entre 3-20 monosacáridos. Muchos de ellos son considerados parte de la fibra dietaria, ya que no pueden ser digeridos por el organismo humano. Son moléculas muy solubles, debido a su pequeño tamaño y su capacidad para formar puentes de hidrógeno con el agua. Ende (2013) señala que los fructanos y los oligosacáridos de la familia de las rafinosas (OFR) son los más importantes en plantas, aunque en algunas especies existe también la presencia de otros compuestos derivados de inositol como el ciceritol, y también menciona que la familia de las rafinosas está compuesta principalmente por rafinosa, estaquiosa y verbascosa, aunque actualmente se han encontrado variedad de compuestos relacionados. Estas moléculas pueden actuar como carbohidratos de reserva, estabilizadores de membrana y mediadores de tolerancia al estrés. Aunque también podrían actuar como compuestos de señalización en condiciones de estrés (Ende, 2013). La rafinosa es un trisacárido que se compone de una molécula de galactosa, una de glucosa y una de fructosa, de la forma [α -D-galactosa-1,6- α -D-glucosa-1,2- α -D-fructosa] (Figura 13a). La estaquiosa y la verbascosa son similares a la rafinosa, pero tienen dos y tres moléculas de α -D-galactosa, respectivamente, unidas por enlace (1-6) (Figura 13b y 13c).

Las leguminosas tienen un alto contenido de OFR y su consumo ha sido asociado a la producción de flatulencia. Esto se debe a que los OFR son moléculas fácilmente fermentables por los microorganismos que habitan el intestino humano, los cuales pueden generar gases como producto de su metabolismo. Además, los OFR han demostrado tener un posible efecto prebiótico, siendo muy eficaces para el crecimiento selectivo sobre todo de bifidobacterias benéficas (Bustamante y col., 2006). Algunas legumbres contienen series homólogas de galactósidos solubles, que están basados en unidades de ciclitol. Aunque estos galactosil ciclitoles no son oligosacáridos en sentido estricto, pueden encontrarse en altas concentraciones, por ejemplo, en garbanzos y lentejas (Aguilera-Gutierrez, 2009). Entre ellos encontramos el ciceritol, el cual es un pinitol digalactósido (Figura 13d), que demostró tener efecto prebiótico evaluado mediante ensayos *in vitro* (Zhang y col., 2017).



(d)

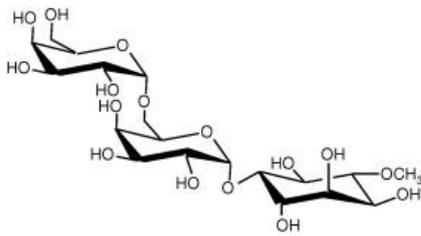


Figura 13. Estructura de oligosacáridos. a) Rafinosa. b) Estaquiosa. c) Verbascosa. d) Ciceritol.

Almidón resistente

El almidón resistente (AR) se define como la porción de almidón sobre la cual no actúan las enzimas digestivas (Bemiller, 2020). Químicamente, los almidones son polisacáridos formados por D-glucosa unida mediante enlaces α -(1-4) y/o α -(1-6), y están compuestos por dos moléculas fundamentales: la amilosa y la amilopectina. La amilosa es un polímero lineal de α -(1-4)-D-glucosa (Figura 12a) que normalmente constituye entre el 15-20% del almidón, tiene un grado de polimerización de hasta 6000 monómeros y puede formar hélices simples o dobles, además de estructuras más complejas (Sajilata y col., 2006). Por su parte, la amilopectina es un polímero más grande y ramificado, el cual se compone de cadenas de α -(1-4)-D-glucosa, con ramificaciones unidas por enlaces α -(1-6) (Figura 12b) cada 20-25 residuos de la cadena principal. Tiene un grado de polimerización promedio de 2 millones de monómeros, lo que la convierte en una de las moléculas más grandes de la naturaleza (Sajilata y col., 2006). La amilosa y la amilopectina se empaquetan formando un patrón radial relativamente deshidratado llamado gránulo de almidón, el cual tienen un carácter semicristalino, con regiones cristalinas y amorfas alternadas (Figura 12c). Las regiones cristalinas, representan aproximadamente un 30% y se conforman principalmente de amilopectina (Sajilata y col., 2006).

Cuando se somete a calentamiento en presencia de agua, el gránulo de almidón gelatiniza y estalla, perdiendo su estructura, de manera que, al consumirlo, es más fácil para las enzimas llegar a las cadenas de amilosa y amilopectina para hidrolizarlas. Una de las enzimas digestivas más importantes es la α -amilasa, la cual se encuentra en la saliva y en las secreciones pancreáticas que se vierten hacia el intestino delgado. Esta enzima hidroliza selectivamente los enlaces α -(1-4) de la amilosa y la amilopectina, transformando a ambas moléculas en oligosacáridos más pequeños, de manera que otras enzimas que se encuentran en la superficie del borde en cepillo intestinal, llamadas maltasa-glucoamilasa y sacarasa-isomaltasa, pueden hidrolizar esos oligosacáridos a glucosa, para luego ser absorbidos en el intestino (Bemiller, 2020). El AR tiene características estructurales que lo hacen escapar de la hidrólisis enzimática, de manera que puede llegar al colon, para ser fermentado por la microbiota presente, o

puede ser eliminado por heces. Existen cuatro clases de almidones resistentes. El tipo I es el almidón físicamente inaccesible para las enzimas, por ejemplo, el que se encuentra en granos o semillas enteros o parcialmente molidos. El almidón resistente tipo II es aquel que se encuentra en forma de gránulo sin gelatinizar, como por ejemplo en el plátano verde, o aquel que posee gran contenido de amilosa como algunos almidones de maíz, dado que una cantidad más alta de amilosa en relación a la amilopectina permite establecer una estructura más compacta que es menos susceptible a la hidrólisis enzimática (Villaruel y col., 2018). Este tipo de almidones resistentes se caracteriza por una alta resistencia a la gelatinización, en algunos casos, se necesitan temperaturas por encima de los 120 °C para gelatinizar almidones con alto contenido de amilosa, lo que los hace más resistentes también a la digestión (Quiroga-Ledezma, 2008). El tipo III es el almidón retrogradado, el cual se forma en pequeñas cantidades luego de que se enfría un alimento que posea almidón gelatinizado. Los almidones tipo IV son aquellos que han sido modificados químicamente, y por lo tanto poseen otro tipo de enlace que no puede ser hidrolizado por la amilasa, como por ejemplo los almidones esterificados (Fuentes-Zaragoza y col., 2010). Si bien el AR no es un componente de la pared celular, éste se comporta como fibra soluble fermentable, y por lo tanto aporta aquellos beneficios propios de ese tipo de fibra (Sajilata y col., 2006).

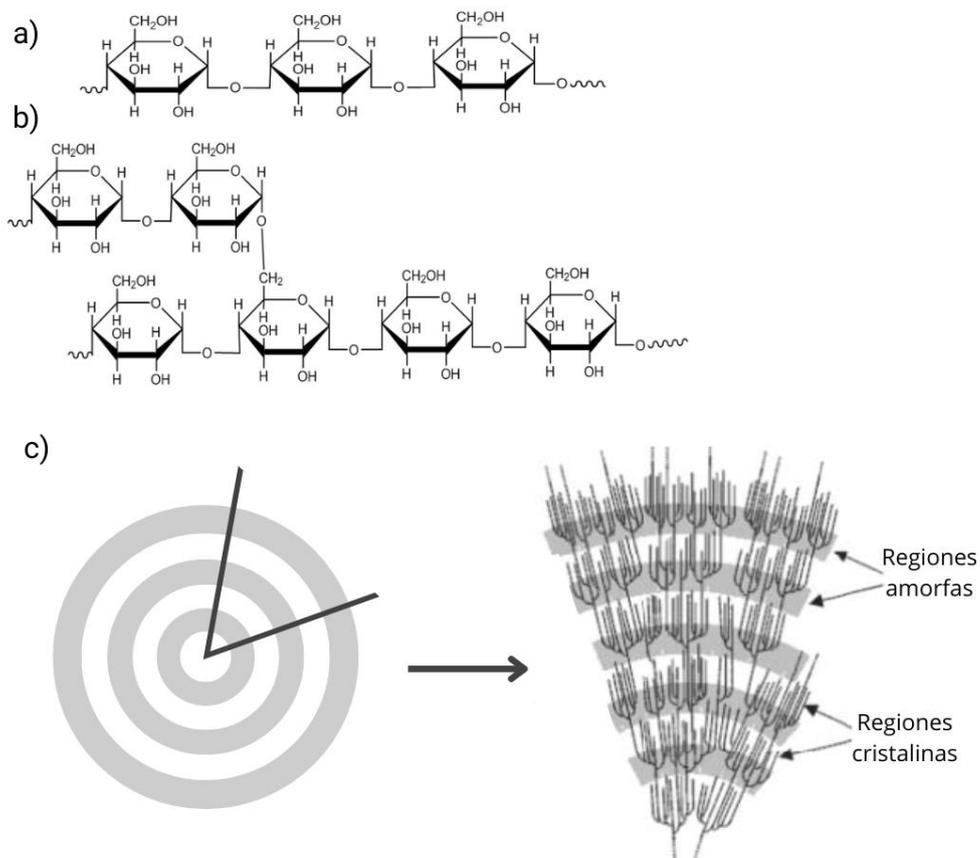


Figura 12. Estructura del almidón. a) estructura de la amilosa. b) estructura de la amilopectina. c) esquema del gránulo de almidón y porción del mismo ampliada para ilustrar la estructura del gránulo.

C1.3 Composición de la fibra dietaria en pseudocereales

Numerosos autores han analizado las cantidades relativas de fibra dietaria total (FDT), soluble (FDS) e insoluble (FDI) de granos enteros y harinas de los distintos pseudocereales. Tales valores abarcan amplios rangos, no sólo por la gran variedad de genotipos existentes de cada pseudocereal, sino también por la influencia de los factores ambientales a los que fueron expuestos los cultivos, y por las diversas técnicas de laboratorio que pueden utilizarse para cuantificar y caracterizar la fibra. Debe tenerse en consideración que no importa únicamente el valor *per-se* del contenido de fibra dietaria, sino también la correlación que guardan las fracciones insoluble y soluble entre sí, ya que un adecuado balance permite obtener los máximos beneficios en la salud. Resulta de especial interés conocer en detalle las estructuras de los polisacáridos presentes en las paredes celulares vegetales de los pseudocereales, ya que esta información permite correlacionar a las mismas con las características tecno-funcionales y biológicas que pueda presentar la fibra dietaria en estas fuentes. En este sentido, su estudio, aporta valiosa información que permitiría comprender el comportamiento de esta fibra en el organismo y en las diversas matrices alimentarias que la contengan, de modo de promover la utilización de los pseudocereales como materias primas no tradicionales.

Amaranto

La **Tabla 3** muestra valores de FDT, FDS y FDI expresados en base húmeda. En todos los casos, la FDT se encuentra en concordancia con los valores mencionados anteriormente para la composición centesimal de pseudocereales de la **Tabla 1**. Puede observarse un predominio de la FDI por sobre la FDS en los valores informados por los diferentes autores. En base a los contenidos de fibra dietaria expresados en la **Tabla 3** se puede estimar que del total de la fibra dietaria de amaranto, entre 12 y 42% corresponde a fibra soluble, mientras que entre 58 y 86% del total corresponde a la fibra insoluble.

Tabla 3. Valores de FDT, FDS y FDI de semillas de amaranto encontrados en bibliografía.

	FDT	FDS	FDI	FDI/FDS
Repo-Carrasco-Valencia y col. (2009)	12,5-14,8	1,5-2,2	11,0-12,6	6,4*
Glorio y col. (2008)	15,8	2,2	13,6	6,2
Collar y Angioloni (2014)	13,6	5,7	7,9	1,4
Lamothe y col. (2015)	9,9	2,1	7,8	3,7
Lab. LIDiPA (2019, CIDCA-UNLP)	10,8	2,2	8,6	3,9

Datos expresados como g fibra/100 g de semillas en base húmeda.

*Valor tomado como $FDI^{promedio}/FDS^{promedio}$

Según [Bunzel y col. \(2005\)](#), las paredes celulares primarias de las dicotiledóneas como el amaranto, son ricas en pectinas, xiloglucanos y celulosa. [Lamothe y col. \(2015\)](#) estudiaron la composición de las fracciones FDS y FDI del amaranto, encontrando que el 5% de la FDI en base seca correspondía a lignina. Estos mismos autores también encontraron que la FDI se compone principalmente por ácido galacturónico, arabinosa, xilosa, glucosa y galactosa. La mayor parte de la glucosa analizada se atribuyó a celulosa y xiloglucanos, ya que mantenían los enlaces típicos de estos tipos de estructuras. La glucosa perteneciente a celulosa correspondió al 7% de la FDI, aunque destacan los autores que esta cifra podría estar subestimada por el método analítico utilizado. Por otro lado, la proporción estimada de xiloglucanos fue de 30%, presentando éstos un alto grado de ramificación, debido a la elevada relación Xyl/Glc hallada. Este último resultado coincide con los estudios realizados por [Bunzel y col. \(2005\)](#) los cuales describen una gran cantidad de unidades de xilosa terminal en amaranto que podrían estar formando parte de cadenas laterales de xiloglucanos. [Bunzel y col. \(2005\)](#) también identificaron unidades de xilosa unidas por enlace β -(1-4), lo que indicaría presencia de xilanos, aunque en baja proporción. Por otro lado, [Lamothe y col. \(2015\)](#) encontraron que el contenido de polisacáridos pécticos en la FDI es 59%, con ramnosa en bajas proporciones, indicando que los polisacáridos pécticos son principalmente homogalacturonanos intercalados con pequeños tramos RG-I. Se puede inferir que por el tipo de enlaces presentes en los residuos galactosa y arabinosa, éstos estarían formando parte de cadenas laterales de los compuestos pécticos RG-I. El contenido mayoritario de HG respecto al de RG-I hallado por [Lamothe y col. \(2015\)](#) concuerda con lo expresado por [Mohnen \(2008\)](#), quien establece que los HG constituyen hasta el 65% de la pectina de las paredes celulares de las plantas, mientras que el RG-I representa solo el 25-35%. Con respecto a la FDS de amaranto, [Lamothe y col. \(2015\)](#) describen que contiene ácido galacturónico, galactosa y arabinosa en cantidades significativas, lo cual sería indicativo de la presencia de sustancias pécticas también en esta fracción, contribuyendo a la misma en un 34%. La predominancia de ácido galacturónico y la ausencia de ramnosa señalan que los constituyentes pécticos más importantes serían los homogalacturonanos ([Lamothe y col., 2015](#)). Además, se informa la presencia de manosa en cantidades significativas, aunque considerablemente más bajas en relación a otros monosacáridos. En este caso, la presencia de estos monosacáridos se atribuye a los galactomananos, y su contenido se estima en un 0,3%. Los autores también indicaron que la FDS está conformada además por unidades de xilosa y glucosa, que derivarían en su mayoría de xiloglucanos, comprendiendo un 60-70% de la fibra de esta fracción. [Lamothe y col. \(2015\)](#) describen una relación Xyl/Glc alta en estas muestras, lo que indica un elevado nivel de ramificación en estos compuestos. Las cadenas laterales de estos polisacáridos comprenden di y tri sacáridos, que incluirían unidades de xilosa, glucosa y posiblemente

arabinosa. Villacrés y col. (2013) informaron la presencia de arabinosilanos solubles en cantidades significativas, los cuales forman parte de la FDS del amaranto.

Capriles y col. (2008) estudiaron el contenido de almidón resistente en semillas de amaranto y encontraron que las semillas crudas de este pseudocereal poseen un 0,5% de AR en base seca. Sin embargo, observaron que luego de la cocción el valor de almidón resistente se redujo a un 0,2%. Los autores concluyeron que el descenso de AR en las semillas de amaranto pudo haber ocurrido debido al pequeño tamaño de sus gránulos de almidón y su tendencia a perder por completo la estructura cristalina durante el tratamiento térmico. Dado que un alimento que se considera buena fuente de almidón resistente debe poseer una proporción AR/almidón total de al menos 4,5% (Repo-Carrasco-Valencia y Arana, 2017), el amaranto no se puede incluir en ese grupo de alimentos. Estos autores mencionan que, en el amaranto, esta relación es de 0,86%, mientras que Kraic (2006) menciona un coeficiente de 1,98%, siendo ambos valores bajos.

En cuanto al estudio de los oligosacáridos Guzmán-Maldonado y Paredes-López (1998) consideran que un consumo suficiente de los mismos para poder notar sus beneficios debería rondar los 2-3 g/día de oligosacáridos en amaranto. Los autores también informan que el contenido de rafinosa y estaquiosa en el amaranto es bajo, con valores de 1,65% y 0,15%, respectivamente. Por otra parte, Gamel y col. (2006) encuentran valores aún más bajos de rafinosa, la cual se encuentra en 0,4%, mientras que coincide en los datos del contenido de estaquiosa. Ambos estudios concuerdan en que las semillas de amaranto no son fuente de oligosacáridos de la familia de las rafinosas. Respecto al contenido de FOS y OFR, diversos autores también describen el contenido de FODMAPS presentes. Este término comprende a los oligosacáridos, disacáridos, monosacáridos y polioles fermentables tales como lactosa, fructosa, sorbitol y manitol, entre otros, y se utiliza para agrupar a todos aquellos carbohidratos no digeribles que desatan síntomas en pacientes con problemas intestinales tales como colon irritable, causando distensión abdominal, diarrea, dolor abdominal u otros malestares. Cabe remarcar, que el consumo de estos carbohidratos afecta de manera negativa solo a quienes padecen alguna enfermedad o intolerancia específica (Shepherd y col., 2013). En este sentido, Békés y col. (2017) afirman que los pseudocereales tales como amaranto, trigo sarraceno y quinoa, son bajos en FODMAPS, y, por lo tanto, se puede inferir que el contenido de FOS también se considera bajo en estos granos. Además, Habus y col. (2022) estudiaron el contenido de FODMAPS en salvado de amaranto, informando que la suma de los valores de fructanos y GOS es de 0,96% en peso seco.

Quinoa

La **Tabla 4** detalla contenidos de FDT, FDI y FDS de semillas de quinoa expresados en base húmeda. Al igual que en cereales, la FDI supera a la FDS en todos los valores expresados por los diferentes autores.

La fibra soluble es la fracción minoritaria y su valor se encuentra entre 10 y 37% de la FDT, mientras que la FDI oscila en porcentajes que van desde 63 hasta 90% de la FDT.

Tabla 4. Valores de FDT, FDS y FDI de semillas de quinoa encontrados en bibliografía.

	FDT	FDS	FDI	FDI/FDS
Repo-Carrasco-Valencia y col. (2011)	11,8-14,0	1,3-1,4	10,5-12,7	8,6*
Collar y Angioloni (2014)	14,5	5,4	9,1	1,7
Lamothe y col. (2015)	9,0	2,0	7,0	3,5

Datos expresados como g fibra/100 g de semillas en base húmeda.

*Valor tomado como $FDI^{promedio}/FDS^{promedio}$

Los autores [Zhang y col. \(2020\)](#) analizaron la FDT de semillas de quinoa y encontraron que contenía 41% de hemicelulosa, 52% de celulosa, 4,7% de pectinas y 1,7% de lignina. Por su parte, [Lamothe y col. \(2015\)](#) determinaron de manera independiente la composición de la fibra soluble e insoluble de las semillas de quinoa. Estos autores, señalan que el contenido de lignina en la FDI corresponde al 9% de la misma. Esta determinación resulta similar a los datos obtenidos por [Repo-Carrasco-Valencia y Serna \(2011\)](#), quienes informaron valores entre 6-7% de lignina pertenecientes a la fracción de fibra insoluble de las semillas de quinoa. Basado en el tipo de enlaces que presentaron las unidades de xilosa y glucosa halladas en la FDI, se pudo inferir que estos monosacáridos se encontrarían formando parte de xiloglucanos, en concordancia con lo expresado por [Serna Saldívar y Ayala Soto \(2020\)](#), quienes identificaron a los xiloglucanos como los principales contribuyentes de las hemicelulosas presentes en plantas. Los xiloglucanos identificados en quinoa resultaron similares a los hallados en el amaranto, y de la misma manera, se encontrarían ramificados con cadenas laterales de di y trisacáridos, presentando un grado de ramificación considerable. Además, los autores no lograron identificar cantidades significativas de glucomananos y galactomananos en la FDI. En cuanto al análisis de la fracción insoluble realizado por [Lamothe y col. \(2015\)](#), los autores manifestaron que la glucosa perteneciente a celulosa se corresponde al 6% de la FDI, siendo este valor similar al hallado en amaranto, y al igual que en éste, los autores infieren que el bajo contenido hallado podría deberse al método analítico implementado. Este resultado es muy inferior al valor descrito por [Zhang y col. \(2020\)](#), en el cual la celulosa corresponde al 52% de la FDT.

La unidad monomérica mayormente encontrada en la fibra dietaria de quinoa por [Lamothe y col. \(2015\)](#) es el ácido galacturónico con enlaces β -(1,4), lo que sugiere que los polisacáridos pécticos son predominantes tanto en la FDI como en la FDS. Según los autores, estos polímeros constituyen aproximadamente el 55% de la FDI, y se encontrarían como HG, y en menor medida como compuestos de RG-I, ramificados con arabinanos y galactanos. En concordancia con estos datos, [Cordeiro y col. \(2012\)](#) describen también el hallazgo de estructuras de estas características en fibra dietaria de

semillas de quinoa. El contenido de polisacáridos pécticos encontrado por estos autores en la FDS constituye también el 55%, pero a diferencia de las pectinas de la FDI, estarían conformados solo por HG ramificados, ya que no se encontró ramnosa en esta fracción. Por su parte, [Lamothe y col. \(2015\)](#) describieron que la FDS de la quinoa analizada se compone también de arabinosa, glucosa, galactosa y en menor medida xilosa y manosa. En esta fracción, la mayor parte de la arabinosa se encontraría formando parte de las ramificaciones de polisacáridos pécticos en forma de arabinanos. Asimismo, fue analizado el contenido de galactomananos en la FDS de la quinoa encontrando un valor bajo, correspondiente a 0,5%. Pudo estimarse también, que el contenido de xiloglucanos de la fracción soluble se encuentra en un rango de 40 a 60%, aunque la presencia de unidades de xilosa en la FDS fue escasa, lo que se traduciría en una relación Xyl/Glc y un grado de ramificación relativamente bajos. [Villacrés y col., \(2013\)](#) describieron la presencia de arabinoxilanos solubles formando parte de la FDS de quinoa en cantidades considerables.

El contenido de almidón resistente en las semillas de quinoa descrito por [Kraic \(2006\)](#) es de 12,6 g/kg en peso seco, y la proporción AR/almidón total hallada en este estudio es de 2,18%. Aunque es un valor mayor al que presentan las semillas de amaranto, aún se considera bajo, por lo tanto, la quinoa no es considerada una buena fuente de almidón resistente. Asimismo, un estudio publicado por [Linsberger-Martin y col. \(2012\)](#) muestra que la aplicación de altas presiones hidrostáticas en semillas de quinoa, puede aumentar el contenido de AR hasta 18 veces, lo que convierte a esta técnica al menos en una alternativa interesante en el desarrollo de ingredientes funcionales para la industria de los alimentos. En este sentido, resulta interesante destacar la importancia que tienen los procesamientos realizados sobre las semillas de los pseudocereales a la hora de discutir el contenido de almidón resistente que puedan contener las mismas.

En un estudio para caracterizar el perfil de FODMAP de diferentes granos, [Ispiryan y col. \(2020\)](#) concluyeron que la quinoa es un pseudocereal con bajo contenido de fructanos y OFR, debido a que los primeros se encontraron por debajo del límite de detección con el método utilizado, mientras que los oligosacáridos de la familia de las rafinosas se encontraron en muy baja cantidad (0,09% en peso seco)

Trigo Sarraceno

La **Tabla 5** presenta las cantidades de FDT, FDS y FDI de semillas de trigo sarraceno. Dado que algunos autores no especifican si las muestras analizadas contienen cáscara, se incluyen en la tabla los contenidos de FDT, FDS y FDI de las fracciones de salvado y cáscara de trigo sarraceno, debido a que ambas partes del grano pueden ser utilizadas en la obtención de harinas integrales para consumo, ya sea de forma parcial o total. El salvado de trigo sarraceno tiene un mayor contenido de fibra soluble,

mientras que la cáscara está enriquecida en fibra insoluble. Este es el motivo por el cual las harinas formuladas con cáscara tienen un alto contenido de fibra, pero mayormente insoluble (Dziedzic y col., 2012).

Tabla 5. Valores de FDT, FDS y FDI de trigo sarraceno encontrados en bibliografía.

	FDT	FDS	FDI	FDI/FDS
Collar y Angioloni (2014)	11,9	6,12	5,81	1,0
Izydorczyk y col. (2014) (descascarillado)	7,5-7,9	2,2-2,7	5,0-5,6	2,2
Wefers y col. (2015) (descascarillado)	5,3	2,4	2,9	1,2
Dziedzic y col. (2012)	28,1	1,4	26,7	19,0
Dziedzic y col. (2012) (Cáscara)	82,1	0,5	81,6	163,2
Zhu y col. (2014) (Cáscara)	86,8	16,0	70,3	4,4
Steadman y col. (2001) (Salvado con fragmentos de cáscara)	36,7	7,0	29,7	4,2
Steadman y col. (2001) (Salvado sin fragmentos de cáscara)	14,1	9,0	5,1	0,6

Datos expresados como g fibra/100 g de semillas en base húmeda.

*Valor tomado como $FDI^{promedio}/FDS^{promedio}$

Zhang y col. (2020) estudiaron la composición de la fibra de trigo sarraceno e informaron como resultado que la fibra de dichas semillas se compone de 39,2% de hemicelulosa, 38,8% de celulosa, 20,2% de lignina y 1,8% de pectina. Teniendo en cuenta los datos presentados en la **Tabla 5**, se podría inferir que las semillas de trigo sarraceno utilizadas se encontraban con cáscara, dado que el análisis muestra que la fibra se encuentra altamente enriquecida en polisacáridos insolubles como celulosa y lignina. Luego de analizar los monosacáridos presentes en la fibra soluble e insoluble de trigo sarraceno descascarillado Wefers y col. (2015) describieron que la FDI se compone, en parte, por cantidades significativas de ácido galacturónico, arabinosa, galactosa y en menor medida, ramnosa. Debido a que el trigo sarraceno es una planta dicotiledónea, la mayor parte de estos monosacáridos se atribuye a la presencia de arabinanos pécticos y galactanos, unidos a segmentos de RG-I. Teniendo en cuenta la relación ácido galacturónico/ramnosa encontrada, se deduce que el HG también contribuiría a los polisacáridos pécticos de la FDI del trigo sarraceno, aunque en menor medida que en la quinoa y el amaranto. Luego de analizar el tipo de estructuras formadas por los polisacáridos pécticos, Wefers y col. (2015) concluyeron que éstos poseen un alto grado de ramificación. Este estudio también sugiere un bajo contenido de celulosa, lo que podría deberse a que las semillas

analizadas se encontraban descascarilladas. La presencia de xilosa terminal y glucosa con uniones β -(1-4) da indicios de que los xiloglucanos pueden estar presentes, aunque la xilosa también se encontraría formando parte de xilanos en baja proporción. En cuanto a la FDS del trigo sarraceno, [Izydorczyk y Head \(2010\)](#) indicaron que consiste principalmente en polisacáridos pécticos, xiloglucanos y arabinogalactanos. La composición de monosacáridos analizada por [Wefers y col. \(2015\)](#) en la FDS de trigo sarraceno descascarillado, sugiere la presencia de RG-I y mayores cantidades de HG que en la fibra insoluble. Los autores también encontraron arabinanos en esta fracción, los cuales se encontrarían formando parte de las ramificaciones de los polisacáridos pécticos. Al igual que en la fracción de FDI, se hallaron glucosa y xilosa con enlaces que coinciden con las estructuras de xiloglucanos, mientras que la alta cantidad de manosa podría resultar proveniente de mananos, aunque el análisis no pudo confirmar esta hipótesis.

En un estudio donde se evalúa el contenido de fibra de distintas fracciones de trigo sarraceno, [Dziedzic y col. \(2012\)](#) informaron que las cáscaras están constituidas en su mayoría por fibra, la cual es predominantemente insoluble y contiene lignina y celulosa en altas proporciones. [Zhu y col. \(2014\)](#) estudiaron el efecto de la micronización de cáscaras de trigo sarraceno concluyendo que la trituración ultrafina logra una redistribución de las fracciones de FDS y FDI, dado que en las muestras analizadas el contenido de FDS aumentó de 16% a 27% luego de ser trituradas. Este dato resulta interesante debido a que utilizando este método se podría alcanzar un balance más adecuado entre FDS y FDI en harinas de trigo sarraceno.

En cuanto al contenido de almidón resistente en el trigo sarraceno, [Kraic \(2006\)](#) menciona que la cantidad de AR encontrado en semillas de trigo sarraceno alcanza 38 g/kg en base seca, mientras que la proporción AR/almidón total es de 6,5%. Por tal motivo, puede considerarse al trigo sarraceno como una buena fuente de almidón resistente comparado con otros pseudocereales como el amaranto y la quinoa. Los elevados valores de AR pueden atribuirse al alto contenido de amilosa que posee este pseudocereal ([Hallström, y col., 2011](#)), tal como fue discutido en la sección de almidón resistente.

En referencia al estudio de los fructanos y oligosacáridos en el trigo sarraceno, [Ispiryan y col. \(2020\)](#) coincide con otros autores al mencionar que este pseudocereal es bajo en FODMAPS, y por lo tanto contiene baja proporción tanto de fructanos, como de OFR.

En base a lo descrito en la sección **C1.3**, donde se analiza la composición de la fibra dietaria de los diferentes pseudocereales, se presenta a continuación la **Tabla 6**, la cual resume la composición de FDI y FDS de amaranto, quinoa y trigo sarraceno.

Tabla 6. Tabla comparativa de los componentes de la FDI y FDS presentes en amaranto, quinoa y trigo sarraceno.

	FDS	FDI
Amaranto	<ul style="list-style-type: none"> -Xiloglucanos altamente ramificados -Homogalacturonanos -Arabinosilanos -Galactomananos (baja proporción) 	<ul style="list-style-type: none"> -Homogalacturonanos intercalados con pequeños tramos RG-I -Xiloglucanos ramificados -Celulosa -Lignina -Xilanos (baja proporción)
Quinoa	<ul style="list-style-type: none"> -Xiloglucanos escasamente ramificados -Homogalacturonanos ramificados -Arabinosilanos -Galactomananos (baja proporción) 	<ul style="list-style-type: none"> -Homogalacturonanos intercalados con pequeños tramos RG-I -Xiloglucanos ramificados -Celulosa -Lignina
Trigo sarraceno (descascarillado)	<ul style="list-style-type: none"> -Polisacáridos pécticos RG-I altamente ramificados -Homogalacturonanos -Arabinogalactanos -Xiloglucanos 	<ul style="list-style-type: none"> -Almidón resistente -Polisacáridos pécticos RG-I altamente ramificados -Homogalacturonanos (baja proporción) -Xiloglucanos -Celulosa (baja proporción) -Xilanos (baja proporción)

C1.4 Composición de fibra dietaria en otras fuentes alimentarias

Frutas

Las frutas son estructuras naturales complejas compuestas de exocarpio (piel), mesocarpio (generalmente pulpa), endocarpio (encierra la semilla) y semillas. La cantidad y el perfil de fibra dietaria que contienen las frutas está muy relacionado con la variedad, la etapa de maduración, las condiciones de crecimiento, el procesamiento y sus partes anatómicas (Morales de la Peña y col., 2020). La **Tabla 7** muestra valores de FDT, FDI y FDS de distintas, aunque como se mencionó anteriormente, estos valores no son representativos de la totalidad de frutas, ya que existen múltiples variaciones entre especies y dentro de una misma especie.

Tabla 7. Valores de FDT, FDS y FDI de distintas frutas (Spiller, 2001 con modificaciones).

	FDT	FDS	FDI	FDI/FDS
Manzana	2,7	0,7	2,0	2,9
Banana	2,4	0,6	1,8	3,0
Limón	2,8	1,7	1,1	0,6
Kiwi	3,4	0,8	2,6	3,2
Naranja	2,4	1,4	1,0	0,7
Durazno	2,0	0,8	1,2	1,5
Frutilla	2,3	0,6	1,7	2,8

Datos expresados como g fibra/100 g de fruta en base húmeda.

*Valor tomado como $FDI^{promedio}/FDS^{promedio}$

En la presente tabla puede observarse que el contenido de FDS oscila entre 24 y 60% respecto del de la FDT, estableciéndose en general, una relación entre las fracciones de fibra de las frutas cercana a lo que se considera adecuado, predominando en la mayoría de las frutas la fracción insoluble. Al igual que en todos los alimentos de origen vegetal, los distintos tejidos contienen diferente cantidad de fibra y su composición varía. Un ejemplo claro puede observarse en las cáscaras de las frutas, las cuales contienen una cantidad mayor de fibra que otros tejidos como la pulpa, y al ser retiradas, la fruta pierde parte de la fibra dietaria. Se tomará como ejemplo para fines comparativos solo la manzana, debido a que la inmensa cantidad de frutas existentes y su diversidad, no permiten un análisis general de las estructuras que componen la fibra dietaria.

La manzana es una fruta muy consumida a nivel mundial y además es ampliamente cultivada en nuestro país. Su fibra dietaria contiene celulosa, hemicelulosa, sobre todo xiloglucanos y en menor medida xilanos y mananos, pectina y lignina. El contenido de celulosa puede estimarse en 0,7% en base húmeda, mientras que la lignina solo representaría el 0,1% en base húmeda (Spiller, 2001).

La pectina de la manzana se compone principalmente de HG y en menor medida de RG-I; estos últimos se encuentran sustituidos con cadenas laterales neutras de arabinanos ramificados típicamente complejos y galactanos más bien lineales (Wefers y col., 2018). El xilogalacturonano se compone de una columna vertebral de homogalacturonano, pero se sustituye con unidades de xilosa en la posición O3. Aunque este grupo de polisacáridos pécticos suele ser menos importante, se ha demostrado que abunda en las manzanas (Wefers y col., 2018). Gheyas y col. (1997) encontraron que más de la mitad de los polisacáridos pécticos pertenecen a la fracción soluble de la fibra de manzana y, además, las pectinas de esta fracción tienen un menor contenido de ramnosa, lo que indica que contienen mayor cantidad de HG que las pectinas insolubles. En cuanto a la FDI insoluble, Colin-Henrion y col. (2009) encontraron que está compuesta mayormente por monosacáridos de glucosa, pertenecientes a los

polisacáridos de celulosa y xiloglucanos. Respecto al contenido de oligosacáridos [Muir y col. \(2009\)](#) presentaron un estudio en el que concluyeron que tanto los FOS como los oligosacáridos rafinosa y estaquiosa, se encuentran en niveles muy bajos en manzanas, tanto que no pudieron ser detectados por el método utilizado.

Hortalizas

De manera similar a lo que ocurre con las frutas, el contenido de fibra dietaria en las hortalizas varía considerablemente de unas a otras. Uno de los motivos fundamentales, es que esta denominación encierra diferentes partes anatómicas vegetales, por ejemplo, encontramos hortalizas de hoja, raíces, tubérculos, flores y frutos. Cada una de ellas está formada por tejidos distintivos según la especie y función que cumplen dentro de la planta, aunque en general, todos los tejidos vegetales se consideran fuente importante de fibra dietaria ([Morales de la Peña y col., 2020](#)). Otra fuente de variación la aporta el procesamiento del alimento, muchas hortalizas son sometidas a distintos métodos de cocción antes de su consumo, y esto también modifica las cantidades relativas de fibra dietaria que pueda estar presente. La **Tabla 8** muestra a modo comparativo y demostrativo las cantidades de FDT, FDS y FDI de distintos vegetales.

Tabla 8. Valores de FDT, FDS y FDI de distintas hortalizas ([Spiller, 2001 con modificaciones](#)).

	FDT	FDS	FDI	FDI/FDS
Lechuga	1,7	0,6	1,1	1,8
Zanahoria	3,0	1,5	1,5	1
Cebolla	1,8	1,1	0,7	0,77
Papa (hervida sin piel)	1,8	1,0	0,8	0,8
Espinaca	2,7	0,8	1,9	2.4
Tomate	1,1	0,1	1,0	10
Zucchini	1,2	0,5	0,7	1,4

Datos expresados como g fibra/100 g de hortaliza en base húmeda.

*Valor tomado como $FDI^{promedio}/FDS^{promedio}$

La **Tabla 8** muestra que el contenido de FDS de las hortalizas se encuentra entre 10 y 60% de la fibra dietaria total. Se puede observar que los valores de FDT presentan mucha variabilidad debido a las diferentes especies vegetales mencionadas. La relación FDI/FDS es en general menor a 3, lo que se traduce en una proporción de FDS relativamente alta. Aunque a simple vista el contenido total de fibra dietaria no parezca tan elevado en frutas y hortalizas, se debe considerar que ambos grupos

alimentarios poseen un contenido muy alto de agua, que puede rondar entre 70 y 95% (Spiller, 2001). Por lo tanto, el contenido relativo de fibra cuando se lo analiza en base seca suele ser muy superior al expuesto en la tabla.

La zanahoria (*Daucus carota*) es un tubérculo ampliamente difundido en el mundo que se consume fresco o cocido, y en muchos países se utiliza para la producción de jugo u otros productos industrializados (Morales de la Peña y col., 2020). Su popularidad ha contribuido a la realización de diversos estudios que buscan, por un lado, conocer sus características nutricionales y tecnofuncionales, y por otro aprovechar los subproductos de la industria en busca de nuevos ingredientes funcionales. En ese sentido, Chau y col. (2004) realizaron un estudio sobre el potencial uso de orujo de zanahoria, el cual es un subproducto de la fabricación de jugo, como materia prima para la obtención de fibra. Los autores describen que este subproducto se encuentra enriquecido en fibra insoluble, y por lo tanto podría ser muy buena materia prima para la obtención de esta fracción de fibra. Por su parte, Morales de la Peña y col. (2020), mencionan que el contenido de fibra dietaria total de las zanahorias, es de 50% en base seca. En cuanto a los componentes que conforman la FDI, Herranz y col. (1981) realizaron un estudio para conocer las cantidades de celulosa y lignina presentes en diversos vegetales donde detallan que el contenido de celulosa presente en zanahorias es 7% en base seca, mientras que la lignina alcanza el 2%. En cuanto al análisis de las pectinas, Massiot y col. (1988) concluyen que éstas representan el 1% de las zanahorias frescas, lo cual se traduce aproximadamente en 8% en base seca. Esta fracción se compone de polisacáridos pécticos altamente metoxilados solubles, con tramos de RG-I que poseen ramificaciones de arabinanos y galactanos, aunque también menciona la presencia de protopectina insoluble, la cual es un precursor de las sustancias pécticas, que generalmente se encuentra en mayor medida en frutos inmaduros, y se asocia, generalmente, a celulosa y otros polisacáridos. En ese mismo estudio, y en concordancia con los datos aportados por Houben y col. (2011), se detalla que las hemicelulosas presentes en la fibra dietaria de zanahoria se componen mayormente de glucomanos, aunque también son importantes los xiloglucanos, como es habitual en las plantas dicotiledóneas. Estos autores también mencionan la presencia de xilanos, aunque en menor medida. En cuanto a la presencia y concentración de algunos FOS (nistosa y kestosa), rafinosa y estaquiosa en distintos vegetales, Muir y col. (2009) concluyeron que la zanahoria es una hortaliza muy pobre en todos estos compuestos, debido a que no pudieron encontrarse cantidades significativas con el método utilizado para determinarlos.

Cereales

Los cereales son el principal suministro de alimentos para la humanidad, y proporcionan un porcentaje muy alto de la ingesta total de calorías, especialmente en países en desarrollo. Cuando se los consume de manera integral, son considerados una buena fuente de fibra dietaria, pero la realidad muestra que un alto porcentaje se consume en forma de harinas refinadas o granos descascarillados y pulidos. La **Tabla 8** muestra los contenidos de FDT, FDS y FDI de distintos cereales integrales o sus harinas.

Tabla 8. Contenido de FDT, FDS y FDI de cereales (Spiller, 2001 con modificaciones; Serna Saldívar y Sánchez Hernández, 2020).

	FDT	FDS	FDI	FDI/FDS
Arroz integral	4,6	0,7	3,9	5,6
Arroz blanco	2,4	0,5	1,9	3,8
Harina de trigo (refinada)	2,7	1,6	1	0,6
Trigo integral	10,9-19,0	1,1-3,1	10,4-11,3	5,2*
Maíz	7,1-13,9	0,6-1,5	6,5-13	9,3*
Cebada	12,9-20,6	2,9-5,1	9,6-16,5	3,3*
Centeno	13,0-17,7	3,9	13,8	3,5
Sorgo	6,5-10,4	0,4-2,3	5,6-9,4	5,6*

Datos expresados como g fibra/100 g de cereales en base húmeda.

*Valor tomado como $FDI^{promedio}/FDS^{promedio}$

En la **Tabla 8** puede apreciarse que el contenido de FDT de los distintos cereales integrales es relativamente alto, y a su vez similar entre las diferentes especies, predominando la fracción insoluble en todas ellas. El proceso de molienda para la obtención de harinas refinadas generalmente elimina la aleurona, los tejidos germinales y el salvado, y que contienen la mayor parte de la fibra dietaria, estimándose que luego de este proceso, se elimina alrededor del 80% de la FDT asociada al grano integral (Serna Saldívar y Sánchez Hernández, 2020).

El trigo común (*Triticum aestivum*), también llamado trigo pan, es uno de los cereales más cultivados y consumidos a nivel mundial. En él, los polisacáridos no amiláceos más abundantes son los arabinoxilanos, β -(1-3; 1-4) glucanos, celulosa y lignina, aunque también contiene pequeñas cantidades de oligosacáridos y mananos. Según Serna Saldívar y Sánchez Hernández (2020) los arabinoxilanos representan un 4-6% de la semilla. Éstos se encuentran distribuidos ampliamente por los tejidos del salvado, la capa aleurona y el germen, mientras que el endospermo los contiene en pequeñas cantidades. Estos polisacáridos presentan diferencias dependiendo del tejido en el que se

encuentren: mientras que los arabinosilanos presentes en el pericarpio exterior y el germen son más ramificados, los presentes en la capa aleurona presentan un grado de ramificación mucho menor (Paesani, 2019). La lignina y la celulosa son también componentes importantes, especialmente en el salvado de trigo. El contenido medio de lignina representa un 2% de la semilla (Serna Saldívar y Sanchez Hernandez, 2020), mientras que el valor medio de celulosa es de aproximadamente 2,1% según Andersson y col. (2013). La pared celular de la aleurona contiene, además de arabinosilanos, cantidades apreciables de β -(1-3; 1-4) glucanos, y cantidades menores de glucomanano y celulosa. Los β -(1-3; 1-4) glucanos se consideran parte de la fibra dietaria soluble y representan solo un 0,4-0,8% del trigo integral. Además, el trigo contiene pequeñas cantidades de otros compuestos solubles y fermentables como estaquiosa, rafinosa y glucofructanos, los cuales se encuentran en la aleurona y los tejidos germinales, aunque también pueden encontrarse fructanos en el endospermo. Aunque el trigo no se considera una de las fuentes más abundantes de FODMAP, sí debe tenerse en cuenta en caso que deban eliminarse los FODMAP de la dieta ya que contiene niveles considerables (Sherpher y col., 2013).

El contenido de almidón resistente varía entre especies de trigo. Mientras que las especies normales podrían alcanzar valores de entre 1,8-7,3% en peso seco, otras variedades de alto contenido de amilosa pueden alcanzar los 16,9% de almidón resistente (Štěřbová y col., 2016). Si hablamos en términos de la correlación porcentual AR/almidón total, podríamos decir que ésta fluctúa entre 3,5 y 12,2% en los trigos comunes, hasta un 30,9% en la variedad de alto contenido de amilosa, por lo que podría asumirse que el trigo integral es una buena fuente de almidón resistente, aunque también debe tenerse en cuenta que el contenido de AR de los cereales se ve modificado luego de los distintos procesos que se aplican antes de su consumo.

Legumbres

Las legumbres son semillas que nacen naturalmente encerradas dentro de una vaina. Representan uno de los principales proveedores de proteínas para la humanidad, pero su contribución es especialmente relevante en países en desarrollo, debido a que su precio es bajo comparado con los alimentos de origen animal. Además, son consideradas una excelente fuente de fibra dietaria, ya que generalmente se consumen de manera integral. Las más cultivadas a nivel mundial son la soja, los porotos, las lentejas, las arvejas y los garbanzos (Serna Saldívar y Sanchez Hernandez, 2020). La **Tabla 9** muestra, a modo comparativo, el contenido de FDT, FDS y FDI de diferentes legumbres integrales.

Tabla 9. Contenido de FDT, FDS y FDI de legumbres (Haros y Schoenlechner, 2017).

	FDT	FDS	FDI	FDI/FDS
Porotos	22,3	2,4	19,9	8,3
Lentejas	12,7-20,7	1,4-1,7	11,0-19,3	9,8*
Garbanzos	15,4	4,5	10,9	2,4
Arvejas	13,8-22	1,7-5	8,7-20,3	4,3*
Soja	9,2-16,5	2,2-4,0	7,0-12,5	3,1*

Datos expresados como g fibra/100 g de legumbres en base húmeda.

*Valor tomado como $FDI^{promedio}/FDS^{promedio}$

Al comparar los valores de fibra dietaria total de las diferentes legumbres, se puede observar que son similares entre sí, independientemente de la especie. En todos los casos, existe un predominio de la fracción insoluble, al igual que en la mayoría de los grupos alimentarios analizados con anterioridad. Las leguminosas están constituidas por tres partes anatómicas principales: la testa, que comprende menos del 10%, el hilio que representa alrededor del 2%, y los cotiledones, que actúan como tejidos de reserva y constituyen la mayor parte de la semilla. El contenido de FDT de las legumbres se encuentra generalmente asociado a la testa, la cual varía en su composición entre 8 y 28% de FDT, con un nivel de FDS que puede alcanzar valores de entre 3 y 14%, dependiendo de la especie, entre otros factores de variación (Serna Saldívar y Sanchez Hernandez, 2020).

El garbanzo es una legumbre muy utilizada en países de medio oriente, aunque actualmente su consumo es popular también en otros países. Existen dos variedades llamadas Kabuli y Desi, siendo la variedad Kabuli la más usada y distribuida alrededor del mundo. Según Singh (1984), la fibra dietaria total del garbanzo Kabuli está constituida por un 23% de celulosa, 40% de hemicelulosas, 12% de lignina y 24% de sustancias pécticas. En un estudio sobre los azúcares neutros presentes en distintas fracciones de fibra de garbanzos Brummer y col. (2015) describen que el azúcar neutro predominante, luego de la glucosa, es la arabinosa, la cual podría estar formando parte de cadenas laterales de pectinas o arabinoxilanos. Además, los autores detectaron la presencia de ácido galacturónico y pequeñas cantidades de ramnosa, tanto en la FDS como en la FDI, confirmando la presencia de polisacáridos pécticos ramificados en ambas fracciones. Los garbanzos contienen también cantidades significativas de oligosacáridos como rafinosa, estaquiosa, verbascosa y ciceritol. Este último representa aproximadamente el 50% de los oligosacáridos presentes, seguido de la estaquiosa que representa el 35% de los mismos (Serna Saldívar y Sanchez Hernandez, 2020). Otros oligosacáridos como la kestosa y nistosa (FOS) no se encuentran presentes de manera apreciable en garbanzos, al igual que la inulina (Siva y col, 2019).

El contenido de almidón del garbanzo representa el 52,5% en peso seco, del cual el 35% corresponde a la fracción resistente. Dicho de otra manera, la proporción AR/almidón total es igual a 35%, mientras que Kraic (2006) reporta un valor de 11,9% para esta relación. Ambos valores de AR/almidón total informados se consideran altos. Un motivo por el cual este porcentaje resulta tan alto, puede deberse a que el almidón de las legumbres, incluido el garbanzo, contiene más amilosa que los almidones de cereales y pseudocereales, y por lo tanto, es más resistente a la digestión (Jukanti y col, 2012).

C1.5 Comparación entre fibra dietaria de pseudocereales y otras fuentes alimentarias

Los datos analizados muestran gran variabilidad entre autores. Aun así, se pueden establecer ciertas generalidades entre las distintas matrices alimentarias:

- Los pseudocereales y los cereales integrales contienen generalmente cantidades comparables de fibra dietaria total, alrededor del 15%, a excepción del arroz, el cual posee un contenido más bajo (Tablas 3, 4, 5 y 8). En todos los casos, la FDT disminuye drásticamente al descascarillar las semillas. Por otro lado, el contenido de FDT de las legumbres es ligeramente mayor que en los pseudocereales, y en cuanto a las frutas y hortalizas, el contenido de FDT es de alrededor de 2%. Aunque parece un valor bajo en comparación a los pseudocereales, cereales y legumbres, no es para nada despreciable teniendo en cuenta la gran cantidad de agua que poseen estos alimentos.

- En las matrices alimentarias analizadas, la fracción de fibra predominante es la fibra dietaria insoluble (Tablas 3, 4, 5, 7, 8 y 9). Esto puede verse reflejado en la relación FDI/FDS, la cual es mayor a 1 en la gran mayoría de los alimentos mencionados. Cuanto mayor es esta relación, más enriquecida en FDI es la fibra dietaria del alimento. Según diversos autores, la relación más equilibrada y saludable es aquella cercana a 3. En este sentido, se puede observar cierta similitud entre la relación FDI/FDS del amaranto, la quinoa, y los cereales, debido a que se aproxima a 4. Por otro lado, en las frutas, las hortalizas y el trigo sarraceno descascarillado, esta relación es cercana a 2, y para las legumbres, el valor suele ser mayor a 3. Mientras que, en el caso del trigo sarraceno con cáscara, éste puede alcanzar valores significativamente más altos que todos los demás alimentos estudiados.

- En relación a los polisacáridos que componen la fibra dietaria de cada alimento, se puede destacar que la fibra de amaranto y quinoa son bastante similares entre sí, tanto en proporción, como en el tipo de estructuras que la integran (Tablas 3, 4 y 6). En los pseudocereales analizados, al igual que en la manzana y la zanahoria, los componentes mayoritarios suelen ser los polisacáridos pécticos, y en

menor medida los xiloglucanos. En cada grupo de alimentos estos polisacáridos adoptan estructuras más o menos complejas, con mayor o menor número de ramificaciones, las cuales se asocian a distintas estructuras en la matriz, dando así características diferentes a la fibra dietaria que los compone. La zanahoria, a diferencia del trigo y los pseudocereales estudiados posee una abundante cantidad de glucomananos, mientras que los garbanzos, se diferencian por contener una gran cantidad de arabinosilanos, y por ser el alimento más rico en oligosacáridos fermentables. El trigo también posee este tipo de oligosacáridos, aunque en menor medida, y comparte con el garbanzo la peculiaridad de tener un alto contenido de arabinosilanos. Además, el trigo es el único alimento analizado que contiene β -(1-3; 1-4) glucanos.

-Los alimentos más enriquecidos en celulosa y lignina son el trigo sarraceno con cáscara, el trigo integral y el garbanzo. Estos componentes, que forman parte de la FDI, son más abundantes en el salvado y cáscara, por lo que su remoción fomenta la disminución de dicha fracción de fibra. En amaranto y quinoa la lignina es más escasa. Dado que es un polímero que en la pared celular se une con otros polímeros logrando que estos sean más insolubles y difíciles de aislar o degradar, se puede inferir que, probablemente, el bajo contenido de lignina en estos pseudocereales contribuye a una mayor proporción de fibra soluble, lo cual, expresado de otra manera, implica que en matrices de cereales y pseudocereales el contenido de lignina se correlaciona negativamente con la cantidad de fibra soluble.

-En términos del almidón resistente, el garbanzo, el trigo sarraceno y el trigo son los alimentos que lo contienen en cantidades considerables, en especial las variedades con mayor contenido de amilosa.

Capítulo 2

Relación entre la estructura de la fibra de pseudocereales y su potencial efecto modulador y prebiótico

C2.1 Microbiota intestinal humana

El término microbiota humana hace referencia a la comunidad de microorganismos vivos (bacterias, arquea y eucariotas) que residen en el organismo. Por otro lado, el término microbioma es el conjunto de todos los microorganismos, sus genes y sus metabolitos en un entorno definido (Rico Vidal, 2019). Los microorganismos pueden alojarse en distintas zonas, como la piel, la boca, el intestino o la vagina, y se relacionan con el individuo hospedador. Esta relación puede ser de mutualistas, donde ambos organismos se benefician mutuamente, de comensales, donde los microorganismos no son ni beneficiosos ni patógenos para el hospedador, o patógenos, siendo éstos perjudiciales para la salud del hospedador en ciertas condiciones. Más del 70% de la microbiota total humana se encuentra colonizando la luz y la mucosa del tubo digestivo, exhibiendo una amplia diferencia en cuanto a diversidad y cantidad de microorganismos en cada región del mismo. La microbiota intestinal puede contener unos 100 billones de microorganismos de al menos 1000 especies diferentes, y se estima que puede pesar cerca de 200 g en adultos. Solamente un tercio de los microorganismos presentes son comunes en la mayoría de las personas, mientras que los dos tercios restantes son específicos de cada persona, siendo el microbioma único para cada individuo (Covarrubias Esquer, 2020).

Según datos contenidos en el proyecto Microbioma Humano, lanzado por el *National Institutes of Health* de Estados Unidos, en el intestino hay una predominancia de microorganismos de los filos *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Actinobacteria* y *Proteobacteria*, los cuales representan más del 90% del total (Tabla 10). El resto se compone de *Fusobacterias*, *Verrucomicrobia*, algunas especies de arquea, levaduras, fagos y protistas. Las levaduras forman una comunidad poco diversa, se identificaron menos de 20 especies en adultos sanos y su abundancia es de 4 a 5 órdenes de magnitud menor que las bacterias. El colon humano también alberga patógenos como *Campylobacter jejuni*, *Salmonella entérica*, *Vibrio cholerae*, algunas cepas de *Escherichia coli*, entre otros, pero en bajas cantidades.

Tabla 10. Principales filos bacterianos del tubo digestivo humano (Covarrubias Esquer, 2020).

Filo	%	Géneros
<i>Firmicutes</i>	38,8	<i>Clostridium</i> (anaerobios) <i>Bacillum</i> (fermentativos, <i>Lactobacillus/Enterococcus</i>) <i>Mollicutes</i>
<i>Bacteroidetes</i>	27,8	<i>Cytophaga</i> (<i>Cytophaga hutchinsonii</i>) <i>Flavobacterium</i> <i>Bacteroidetes</i> (<i>Prevotella</i>)
<i>Actinobacteria</i>	8,2	<i>Bifidobacterium</i>
<i>Proteobacteria</i>	2,1	<i>Escherichia coli</i>
<i>Verrucomicrobia</i>	1,3	<i>Akkermansia muciniphila</i>
<i>Euryarcheota</i>	0,9	<i>Methanobrevibacter smithii</i>

Debido a las diferencias fisiológicas y bioquímicas que se encuentran a lo largo del tubo digestivo, los microorganismos no se distribuyen de manera uniforme, sino que en cada sector sobreviven los que logran adaptarse al medio. El estómago y el duodeno albergan un número reducido de microorganismos, ya que allí se vierten las secreciones ácidas, biliares y pancreáticas, que destruyen la mayor parte de los microorganismos ingeridos. En esta zona hay un tiempo de tránsito corto, por lo que se cree que solo sobreviven algunos anaerobios facultativos de rápido crecimiento con capacidad de adherirse a los epitelios (Rico Vidal, 2019). El número de microorganismos aumenta progresivamente a lo largo del yeyuno y el íleon, hasta llegar al colon donde el tiempo de tránsito es más lento y el ambiente resulta más propicio, lo que brinda a los microorganismos la capacidad de proliferar fermentando los sustratos disponibles derivados de la dieta o las secreciones endógenas (Rico Vidal, 2019).

La colonización del tubo digestivo comienza en el nacimiento. Tanto la cantidad como el tipo de microorganismos presentes evoluciona (**Figura 14**), condicionada por los factores medioambientales y patrones alimentarios, hasta los 3 años. A partir de esa edad la microbiota que coloniza el intestino se hace semejante a la del adulto en cuanto a composición, diversidad y capacidades funcionales, pudiendo verse alterada en la adolescencia por efecto de las hormonas, para luego permanecer relativamente estable en la etapa adulta. Luego de los 65 años la composición de la microbiota cambia, con una mayor abundancia del filo Bacteroidetes y *Clostridium* de la familia *Ruminococcaceae*, en contraste con individuos más jóvenes donde *Clostridium* de la familia *Lachnospiraceae* es el más frecuente (Thursby y Juge, 2017). En esta última etapa, la microbiota se hace menos diversa y más dinámica, caracterizada por una mayor relación *Bacteroides/Firmicutes*, un aumento de las *Proteobacterias* y disminución de *Bifidobacterium* (Ottman y col., 2012). En la etapa adulta la microbiota puede verse afectada temporalmente por efecto de agentes externos como infecciones o medicamentos, o puede sufrir alteraciones permanentes debido a cambios en el estilo de vida o en la alimentación. Aunque las variaciones temporales tienden a recuperarse sin ayuda externa, puede ocurrir que el grado de modificación de la microbiota sea demasiado grande o se extienda mucho en el tiempo, permitiendo que patógenos oportunistas crezcan en forma desmedida, mientras que la cantidad de microorganismos simbióticos y comensales disminuye con respecto a la microbiota normal. A este tipo de estado se lo conoce como disbiosis, y puede conducir a la pérdida de la función normal de la microbiota intestinal, pudiendo aparecer diversos trastornos (Covarrubias Esquer, 2020).

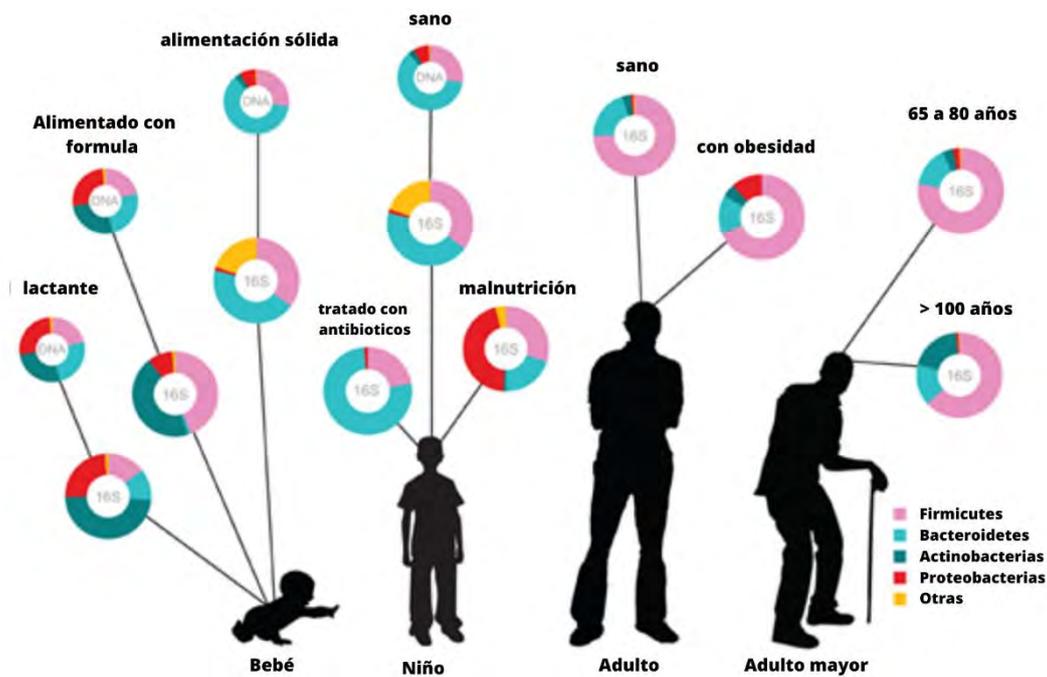


Figura 14. Ejemplo de modificación de la microbiota según la edad y algunas alteraciones (Ottman y col., 2012)

La microbiota intestinal ejerce una gran variedad de funciones e interviene en un sinnúmero de procesos biológicos, tanto a nivel local como en zonas alejadas del intestino a través de sus metabolitos. Los productos bioactivos y metabolitos generados por los microorganismos durante la fermentación, que aportan beneficios probados a la salud, se conocen como posbióticos, e incluyen una amplia gama de compuestos como ácidos grasos de cadena corta (AGCC), enzimas, vitaminas, péptidos bioactivos, además de incluir microorganismos que se encuentran inactivos o partes de éstos (Salminen y col., 2021). La microbiota cumple funciones indispensables en el organismo humano. Entre ellas se destaca el aporte en el mantenimiento de la integridad de la barrera mucosa, el aporte de nutrientes como vitaminas (B12, K, riboflavina, tiamina, entre otras) y la protección contra patógenos de forma directa, a través de la síntesis de sustancias antimicrobianas y de la competencia por los sustratos y el espacio físico, o de forma indirecta, a través de la modulación de procesos que evitan su colonización (Covarrubias Esquer, 2020). Además, la interacción entre la microbiota y el sistema inmune en la mucosa colónica es crucial para una función inmunitaria adecuada. Ambos interaccionan a través de receptores de reconocimiento de patrones moleculares microbianos o de metabolitos producidos por la microbiota. Estos estímulos activan tanto las funciones de barrera, como la síntesis de otros mediadores que regulan la respuesta de las células inmunes asociadas al intestino, de manera que se tolera la presencia de microorganismos inocuos o beneficiosos y se evita el sobrecrecimiento de patógenos. De no ser así, el sistema inmune estaría continuamente activo, provocando un estado inflamatorio constante (Alvarez y col., 2021). Se conoce también la estrecha relación que conservan la microbiota humana con el eje intestino-cerebro, una vía de comunicación

bidireccional y dinámica entre el intestino y el cerebro que se ejerce a través de mecanismos de señalización nerviosos, endócrinos e inmunitarios (Sacristan-Olivieri, 2021).

El intestino contiene alrededor de 100 millones de neuronas que forman parte del sistema nervioso entérico (SNE), el cual se encarga del funcionamiento básico del sistema digestivo como la motilidad y la secreción mucosa, entre otras, y se comunica con el sistema nervioso central (SNC) en mayor medida a través del nervio vago. La microbiota intestinal tiene la capacidad de estimular las vías aferentes del nervio vago, promover la liberación de citocinas (las cuales pueden actuar sobre el SNC) y modular la producción de neurotransmisores (NT), hormonas y metabolitos tales como los AGCC (Gómez-Eguílaz y col., 2019). Un ejemplo es la serotonina, que se sintetiza en un 90% en el intestino y ejerce funciones clave sobre la regulación del estado de ánimo, el apetito, las funciones cognitivas y, a nivel intestinal, regula la inflamación y la motilidad. Hay evidencias de que la modulación de la microbiota está asociada a la biosíntesis de serotonina y a la expresión de sus receptores, mitigando así la inflamación intestinal y los síntomas depresivos (Alvarez y col., 2021). La acción de la microbiota también afecta el eje hipotálamo-pituitario-adrenal, regulando la liberación de cortisol. Hay estudios que demuestran que niveles altos de *Lactobacillus rhamnosus* se correlacionan con menores niveles de corticosterona y un mejor control del estrés y de la depresión. En sentido inverso, otros estudios demuestran que la exposición al estrés puede producir cambios en el perfil de la microbiota (Gómez-Eguílaz y col., 2019). En este sentido, una disbiosis podría favorecer el desbalance de ciertas moléculas necesarias para el correcto funcionamiento del SNC, de manera que podría existir una relación entre la microbiota y algunas enfermedades neurológicas tales como Alzheimer, Parkinson, esclerosis múltiple, trastornos del espectro autista o psicológicas como la depresión y la ansiedad. Akbari y col. (2016) publicaron un estudio en el cual pacientes con Alzheimer presentaron mejoras cognitivas luego de ser tratados con probióticos durante tres meses, mientras que Gómez-Eguílaz y col. (2018) llevaron a cabo un estudio piloto en pacientes con epilepsia resistente a los fármacos, en el que observaron una disminución mayor al 50% de las crisis en casi el 30% de los pacientes tras la administración de probióticos. Actualmente en la bibliografía se puede encontrar una gran cantidad de evidencia científica que demuestra que a través del eje intestino-cerebro, la microbiota tiene la capacidad de producir cambios en el sistema nervioso, y en sentido opuesto, el cerebro puede alterar la composición y el comportamiento microbiano a través del sistema nervioso.

Los principales sustratos utilizados por los microorganismos del colon son los carbohidratos de la dieta que no pudieron ser digeridos a través del tracto gastrointestinal. Algunas especies como *Bacteroides*, *Roseburia*, *Bifidobacterium* y *Enterobacter* pueden producir a partir de estos sustratos AGCC, los cuales son utilizados por los enterocitos como fuente de energía o pasan al torrente sanguíneo alcanzando órganos distales y ejerciendo importantes funciones. La mayoría de los anaerobios

intestinales tienen la capacidad de producir acetato, mientras que el propionato es producido principalmente por *Bacteroidetes*, y el butirato por *Firmicutes* (Thursby y Juge, 2017). El butirato es conocido por sus propiedades antiinflamatorias y anticancerígenas, ya que promueve la proliferación de los colonocitos en las criptas, mientras aumenta la apoptosis y la exfoliación de los mismos en las zonas más cercanas al lumen. También se ha observado que el butirato ayuda a regular la función de barrera y a atenuar la translocación bacteriana, ya que interviene en el ensamblaje de las uniones estrechas entre las células y en la síntesis de mucina (Thursby y Juge, 2017). Esta última es una glicoproteína que se entrelaza para formar una doble capa de moco que impide el contacto directo de los microorganismos con las paredes intestinales y facilita su eliminación por heces. Los AGCC también tienen influencia en la homeostasis hepática de lípidos y glucosa. El propionato, además de emplearse como fuente de energía en las células epiteliales del intestino, tiene la capacidad de regular los niveles de glucosa en sangre al inhibir o activar la gluconeogénesis en el hígado. Se conoce también que puede mejorar la sensibilidad a la insulina y reducir la tasa de síntesis de colesterol (Den Besten y col., 2013). El acetato, al igual que los demás AGCC, puede ser utilizado como fuente de energía en el intestino, aunque puede también ser transportado a órganos periféricos o al hígado para ser usado como precursor del colesterol y ácidos grasos de cadena larga. Tiene la capacidad de reducir la glucemia y la concentración de colesterol en sangre (Den Besten y col., 2013). Los AGCC tienen la capacidad de aumentar el nivel de algunas hormonas intestinales, las cuales promueven la saciedad y refuerzan la acción de la insulina sobre la eliminación de glucosa en el músculo y el tejido adiposo. Además, activan la oxidación de ácidos grasos, mientras que inhiben la síntesis de *novo* y la lipólisis favoreciendo la disminución de ácidos grasos libres en plasma, lo que ayudaría a controlar el peso corporal (Den Besten y col., 2013).

C2.2 Modulación de la microbiota. Probióticos y prebióticos

Cuando se habla de modulación de la microbiota se refiere a la introducción intencionada de cambios en la composición y actividad de los microorganismos que habitan en el intestino, a fin de conseguir un efecto beneficioso en la salud. Esto puede lograrse utilizando diferentes estrategias como cambios en la alimentación, uso de probióticos, uso de prebióticos, uso de simbióticos, en algunos casos uso de antibióticos, o una combinación de ellas. Estas intervenciones pueden tener como objetivo aumentar la diversidad y la abundancia de ciertas bacterias beneficiosas, mejorar el equilibrio o reducir la presencia de microorganismos patógenos.

Los probióticos pueden incluirse en la dieta mediante alimentos fermentados o suplementos dietarios. El tipo de microorganismos que se decide introducir en la dieta está determinado por el objetivo buscado, ya sea para paliar una enfermedad específica, utilizarlo como coadyuvante en un tratamiento, o simplemente para mejorar la salud general. Existen probióticos que ayudan en diversas afecciones de la salud, como el estreñimiento, diarrea y colon irritable, o incluso hasta la malabsorción de lactosa en adultos (Barro y col., 2018). Los géneros probióticos más utilizados son *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*. Varias cepas de estos microorganismos están presentes en el intestino de forma natural, por ejemplo, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Bifidobacterium bifidum* y *Bifidobacterium lactis* (Anexo 1). En la **Tabla 9** se muestran algunos microorganismos probióticos y sus potenciales usos como tratamientos o coadyuvantes en cuadros clínicos. Se emplean en casos de diarrea aguda tanto en niños como en adultos, como coadyuvantes en diarrea causada por antibióticos y también en casos de infección recurrente por *Clostridium difficile*. Se ha demostrado que algunas cepas de *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* y *Saccharomyces* ayudan a reducir la adherencia a la mucosa de patógenos como *Helicobacter pylori* (Castañeda-Guillot, 2017). Además, cuando existe una intensa actividad metabólica de microorganismos beneficiosos en el intestino, se produce un aumento en la concentración de AGCC como productos de la fermentación, y el pH del colon disminuye, condición que desfavorece el crecimiento de bacterias patógenas como *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Klebsiella pneumoniae* y *Salmonella enteritidis*, estimulando el crecimiento de bacterias beneficiosas (Rezende y col., 2021). Asimismo, muchos estudios *in vitro* e *in vivo* demuestran el potencial de los probióticos para ejercer efectos anticancerígenos (Jain y col., 2010; Kvakova y col., 2022). Los posibles mecanismos de acción incluyen el cambio de pH intestinal, la modulación de la respuesta inmune, la disminución de la inflamación del colon, propiedades antimutagénicas y antioxidantes, producción de compuestos antitumorales y reducción de compuestos cancerígenos en el colon (Jain y col., 2010).

Tabla 9. Microorganismos probióticos, efectos benéficos para la salud y sus usos como tratamiento o coadyuvante en cuadros clínicos.

Patología	Cepa	Estadío
Diarrea aguda	<i>Lactobacillus paracasei</i> , <i>Lactobacillus rhamnosus</i> , <i>Saccharomyces boulardii</i>	Aprobado para uso en humanos (Guarner y col., 2017)
Diarrea por <i>Clostridium difficile</i> (coadyuvante, prevención)	<i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactobacillus bulgaricus</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Saccharomyces boulardii</i> , <i>Bifidobacterium bifidum</i> , <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	Aprobado para uso en humanos (Guarner y col., 2017)
Diarrea asociada a antibióticos	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus reuteri</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Saccharomyces boulardii</i> , <i>Bifidobacterium lactis</i> , <i>Bifidobacterium longum</i> , <i>Bifidobacterium bifidum</i>	Aprobado para uso en humanos (Guarner y col., 2017)

Infección por <i>Helicobacter pylori</i> (coadyuvante)	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> , <i>Lactobacillus reuteri</i> , <i>Bifidobacterium lactis</i> , <i>Bifidobacterium bifidum</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Streptococcus faecalis</i> , <i>Bacillus subtilis</i> , <i>Lactobacillus bulgaricus</i> , <i>Bacillus clausii</i>	Aprobado para uso en humanos (Guarner y col., 2017)
Síndrome del intestino irritable	<i>Bifidobacterium bifidum</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Escherichia coli</i> DSM17252, <i>Lactobacillus rhamnosus</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Enterococcus faecium</i> , <i>Bacillus coagulans</i> , <i>Bifidobacterium lactis</i> , <i>Saccharomyces boulardii</i>	Aprobado para uso en humanos (Guarner y col., 2017)
Malabsorción de lactosa en adultos	<i>Lactobacillus bulgaricus</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i>	Aprobado para uso en humanos (Guarner y col., 2017)
Estreñimiento	<i>Bifidobacterium bifidum</i> , <i>Bifidobacterium lactis</i> , <i>Bifidobacterium longum</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus rhamnosus</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i>	Aprobado para uso en humanos (Guarner y col., 2017)
Cáncer de colon (prevención y terapia complementaria)	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> , <i>Bifidobacterium lactis</i> , <i>Bifidobacterium longum</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Enterococcus faecalis</i> , <i>Bifidobacterium bifidum</i> , <i>Bifidobacterium infantis</i> , <i>Lactobacillus lactis</i> , <i>Lactobacillus casei</i>	ensayos clínicos (Kvakova y col., 2022)
Diabetes	<i>Bifidobacterium lactis</i> , <i>Bifidobacterium bifidum</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactobacillus brevis</i> , <i>Lactobacillus salivarius</i> , <i>Lactococcus lactis</i>	ensayos clínicos (Raygan y col., 2018)
Ansiedad y depresión	<i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>Bifidobacterium bifidum</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Lactobacillus rhamnosus</i>	ensayos clínicos (Gregori Navarro, 2020)
Epilepsia farmacorresistente	<i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>Lactobacillus helveticus</i> , <i>Lactobacillus plantarum</i> , <i>Bifidobacterium lactis</i> , <i>Streptococcus thermophilus</i>	Ensayos clínicos (Gomez-Eguilaz y col., 2018)
Alzheimer	<i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Lactobacillus casei</i> , <i>Bifidobacterium bifidum</i> , <i>Lactobacillus fermentum</i>	ensayos clínicos (Akbari y col., 2016)
Infecciones del tracto urinario	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> , <i>Lactobacillus reuteri</i> , <i>Lactobacillus fermentum</i> , <i>Bifidobacterium longum</i>	ensayos clínicos (Kaur y col., 2009)
Infecciones del tracto respiratorio (prevención)	<i>Lactobacillus rhamnosus</i> , <i>Bifidobacterium longum</i>	ensayos clínicos (Kaur y col., 2009)

Nomenclatura de microorganismos del género *Lactobacillus* en **Anexo 1**

Otro método para modular la microbiota implica el consumo de prebióticos ya sea como suplementos o a través de la dieta. Éstos compuestos pueden estar de forma natural en algunos alimentos o pueden adicionarse a los mismos para que adquieran carácter funcional. En términos generales, varios componentes de la fibra dietaria sirven como fuente de energía para los microorganismos del intestino, pero solo algunos logran que la microbiota benéfica y los probióticos crezcan de manera diferencial. En este sentido, el efecto de los prebióticos en la salud está directamente relacionado con su capacidad para estimular el crecimiento de los microorganismos benéficos a modo de mantener la salud intestinal, la modulación inmunológica, la defensa contra patógenos y sus efectos metabólicos. Aunque está establecido que los prebióticos favorecen principalmente un aumento de las poblaciones

de *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*, también pueden estimular el crecimiento de bacterias beneficiosas menos estudiadas como *Akkermansia*, *Eubacterium*, *Propionibacterium*, *Roseburia* y *Faecalibacterium* (Rezende y col., 2021). Actualmente solo algunos fructanos (inulina, oligofructosa y FOS) y galactanos (GOS) están bien documentados como prebióticos, aunque otras fibras tienen gran potencial prebiótico y se están estudiando en la actualidad. Tanto la velocidad como el grado de fermentación de las fibras por parte de los microorganismos, son dos factores clave que influyen en su potencial efecto prebiótico. Estos factores dependerán de su solubilidad, el tamaño de sus cadenas, la superficie total de sus moléculas, y la estructura general de la pared celular o de la matriz alimentaria donde se encuentren (Rezende y col., 2021). Esto implica que, aunque los microorganismos benéficos sean capaces de fermentar de manera diferencial ciertos polisacáridos, si los mismos se encuentran inaccesibles en la matriz, o tienen tiempos de fermentación muy lentos, el efecto prebiótico no se verá reflejado. En ese sentido, los oligosacáridos no digeribles tienen características que facilitan la fermentación, debido a que su grado de polimerización es bajo y su solubilidad es alta. Los más ampliamente estudiados son los GOS y los FOS, los cuales tienen un reconocido efecto prebiótico, aumentando la población de BAL *in vivo* e *in vitro* (Birkett y Francis, 2010; Paineau y col., 2010; Nauta y col., 2010). Otros oligosacáridos derivados de las hemicelulosas como los mananoligosacáridos (MOS), los arabinoxilooligosacáridos (AXOS) y los xilooligosacáridos (XOS), se han propuesto como prebióticos, y si bien aún faltan estudios que permitan confirmar su potencial prebiótico, se ha observado que los compuestos producen un aumento de microorganismos beneficiosos con producción de AGCC, de manera similar a los prebióticos de uso convencional (Jana y col., 2021). Por otro lado, los OFR también demostraron tener efectos prebióticos, aumentando el número de bifidobacterias y lactobacilos, con disminución de la adhesión y colonización de patógenos entéricos (Kanwal y col., 2023). Los polisacáridos, en cambio, tienen grados de polimerización más altos, y en muchos casos se encuentran unidos a otros polisacáridos en las matrices alimentarias, por lo que se espera que se metabolizan más lentamente. Algunos polisacáridos no amiláceos se consideran potencialmente prebióticos, como las pectinas y algunas hemicelulosas (Rezende y col., 2021). Para que los microorganismos puedan usar como fuente de carbono los distintos polisacáridos deben contar con enzimas que degraden los mismos a unidades más pequeñas. Por ejemplo, los xiloglucanos pueden ser degradados en el colon por enzimas propias de la microbiota, generalmente *Clostridium*, que los transforman en oligosacáridos fermentables (Gullon y col., 2014). Este tipo de oligosacáridos ha demostrado tener efectos favorables en la microbiota del colon (Gullon y col., 2016). Por su parte, los β -glucanos pueden mejorar el crecimiento de algunas cepas de *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*, así como modular la producción de AGCC por inducir el aumento de *Clostridium histolyticum* y los grupos *Prevotella* y *Atopobium* (Senés-Guerrero y col., 2020). Los arabinoxilanos (AX) presentes en cereales y

pseudocereales, pueden originar oligosacáridos de AXOS y XOS luego de su hidrólisis enzimática con xilanasas y arabinofuronidasas. Aunque la hidrólisis da como resultado diversos tipos de estructuras dependiendo de la fuente vegetal de origen, los AX se consideran potenciales prebióticos y su consumo se ha relacionado con inmunomodulación positiva, crecimiento selectivo de microorganismos probióticos como *Lactobacillus cellobiosus*, *Lactobacillus paracasei* y *Bifidobacterium* spp, sin influir positivamente en *Escherichia coli*, *Clostridium difficile* o *Clostridium perfringens* (Senés-Guerrero y col., 2020). Las pectinas, una familia compleja de polisacáridos fermentables, pueden promover en el intestino el crecimiento de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*, aunque la capacidad de utilización de la pectina por los microorganismos depende en gran medida del pH del colon y del grado de metoxilación, siendo más rápida la fermentación de pectinas de bajo metoxilo (Dongowski y col., 2002). Estudios *in vivo* han demostrado que la presencia de pectina aumentan las especies bacterianas de *Clostridium* grupo XIV capaces de producir acetato y butirato (Senés-Guerrero y col., 2020). Otros estudios *in vivo* han demostrado también el aumento de AGCC en ratas alimentadas con pectinas, donde se pudo detectar la presencia de oligosacáridos pécticos como intermediarios, producto de la hidrólisis en la que se ven involucradas enzimas bacterianas tales como la pectatoliasa, poligalacturonasa y pectinesterasa (Dongowski y col., 2002). Por su parte, los almidones resistentes son considerados potencialmente prebióticos, con prometedores resultados, tanto *in vitro* como *in vivo*. Varios estudios demuestran que el almidón resistente en la dieta incrementa el número de microorganismos beneficiosos, en especial bifidobacterias, con aumento de la concentración de AGCC en el colon (Cho y Finocchiaro, 2010). Algunos autores afirman que la proliferación de estas cepas puede ocurrir debido a que productos de degradación del almidón resistente pueden ser fermentados por las mismas. En ese sentido, *Ruminococcus bromii* se considera una especie clave para iniciar la degradación de AR, para que sus productos de fermentación pueden ser utilizados posteriormente por otras bacterias (Senes-Guerrero y col., 2020).

C2.3 Posible efecto modulador y prebiótico de la fibra de pseudocereales

Amaranto

El potencial prebiótico del amaranto es un aspecto que aún está siendo estudiado. Aunque la información en bibliografía es escasa, los resultados parecen prometedores, favoreciendo aún más el interés por estas semillas. En ese sentido Gullon y col., (2016) realizaron estudios en los que se midió el potencial prebiótico *in vitro* del amaranto y la quinoa a través de la cuantificación de AGCC, la

evolución del pH y la evaluación de la dinámica de las poblaciones microbianas, utilizando inóculos fecales de mujeres adultas para la fermentación. En este caso, las semillas fueron cocidas en agua y luego se les realizó una simulación de la digestión gastrointestinal. Según describen los autores, los resultados para el amaranto mostraron un notable cambio en la composición bacteriana, con especial crecimiento de *Bifidobacterium* spp., *Lactobacillus*, *Enterococcus*, reconocidos por sus efectos benéficos, *Atopobium* una bacteria generadora de acetato, *Bacteroides* y *Prevotella*, productores de propionato, *Clostridium coccooides* y *Eubacterium rectale*, generadores de butirato, *Faecalibacterium prausnitzii* y *Roseburia intestinalis*, una bacteria que puede transformar acetato en propionato y butirato. Tanto *E. rectale*, *R. intestinalis* y *F. prausnitzii* son bacterias deseables que se asocian con una buena salud intestinal (Gullon y col., 2016). En cuanto a la producción de AGCC se detectó un aumento progresivo en el tiempo, con mayor concentración de acetato, seguido de propionato y butirato, lo que confirma la alta fermentabilidad del medio en el que se utilizan los carbohidratos del amaranto como fuente de carbono. También se reportó que el pH disminuyó con el tiempo, coincidiendo con la producción de AGCC, lactato y formiato (Gullon y col., 2016).

Actualmente no existen estudios publicados que permitan confirmar cuáles son los carbohidratos de la fibra del amaranto capaces de producir una modulación benéfica de la microbiota y/o un aumento en la producción de AGCC, aunque son varios los que tendrían el potencial para ejercer tales efectos prebióticos. No obstante, considerando la gran cantidad de sustancias pécticas y arabinoxilanos que contiene el amaranto, podrían pensarse en estos compuestos como potenciales prebióticos. Además, según autores antes mencionados (Bunzel y col., 2005; Lamothe y col., 2015) los xiloglucanos son polisacáridos muy abundantes en el amaranto, y se encuentran tanto en la fracción soluble como en la insoluble de la fibra dietaria de este pseudocereal, lo que podría ser un indicio de la existencia de diversos tamaños y conformaciones de estas hemicelulosas en la fibra dietaria. Por este motivo, no podría descartarse que el efecto prebiótico observado se relacione también con la presencia de xiloglucanos, los cuales podrían ser hidrolizados *in situ* por enzimas propias de la microbiota presente, transformándose en carbohidratos más pequeños, para luego ser utilizados como fuente de carbono por los microorganismos benéficos.

Quinoa

La quinoa es uno de los pseudocereales más ampliamente estudiados, y por lo tanto el efecto prebiótico de su fibra dietaria lleva más tiempo siendo estudiado. Gullon y col. (2016) describen resultados muy similares a los ya mencionados para el amaranto. Los autores encontraron un aumento en los mismos grupos bacterianos, a excepción del menor crecimiento de *Faecalibacterium*

prausnitzii con respecto al amaranto. Los AGCC aumentaron en el tiempo, y su aumento fue significativamente mayor que en el control, encontrando una concentración media ligeramente mayor en el medio con quinoa respecto del que tenía el medio con amaranto. En el tiempo del ensayo el pH también disminuyó como consecuencia de la formación de los ácidos. En este sentido, los autores destacan que el medio con quinoa es altamente fermentable y confiere un ambiente propicio para el desarrollo de bacterias beneficiosas productoras de AGCC. En concordancia con estos resultados, [Zeyneb y col. \(2021\)](#) reportan un marcado aumento de los AGCC y una disminución del pH al estudiar la fermentación de quinoa cocida y cruda luego de ser sometida a una digestión gastrointestinal simulada en el ensayo de los barros fecales. Los autores encontraron que el propionato y el butirato fueron los AGCC con mayor concentración luego de 24 h, mientras que el acetato se encontró en cantidades más bajas. Teniendo en cuenta que el acetato es generalmente el AGCC de mayor producción, la baja concentración hallada podría indicar que este producto pudo haber sido metabolizado por otras bacterias ([Zeyneb y col., 2021](#)). Además, informaron un cambio positivo en cuanto a la diversidad microbiana luego de la fermentación, con aumento de especies beneficiosas como *Bifidobacterium* y *Collinsella*, y una disminución del género *Clostridium*, lo que otorgaría un potencial efecto prebiótico. Más aún, [Zeyneb y col. \(2021\)](#) ensayaron también una muestra de polisacáridos extraídos de la quinoa, la cual mostró un mayor efecto prebiótico que el observado en las muestras digeridas, favoreciendo especialmente el crecimiento de *Bifidobacterium*.

Al igual que en el amaranto, hay varios carbohidratos presentes en la quinoa que podrían aportar a los potenciales efectos prebióticos. [Cao y col. \(2020\)](#) purificaron un carbohidrato de la fibra de quinoa constituido por unidades de glucosa y arabinosa, el cual demostró tener un efecto modulador sobre la microbiota de ratas alimentadas con una dieta alta en grasas. Se observó una disminución del índice *Firmicutes/Bacteroidetes* (un elevado índice F/B se asocia a las enfermedades metabólicas), y también en los *Clostridium* y algunas especies de *Proteobacteria* asociadas a inflamación y desordenes metabólicos. Los autores describieron el efecto modulador y asociaron estos eventos a la reducción en la hiperlipidemia de las ratas, inducida por la dieta alta en grasas ([Cao y col., 2020](#)). Dentro de este marco, no se descarta que los polisacáridos más abundantes como las pectinas o los xiloglucanos puedan ser fermentados por microorganismos del colon luego de ser sometidos a hidrólisis enzimáticas en el intestino. De la misma manera, no puede descartarse la idea de que más de un tipo de carbohidrato esté aportando al efecto modulador, y que los mismos productos de fermentación, como algunos AGCC puedan ser utilizados por microorganismos, aportando a este efecto.

Trigo sarraceno

El potencial prebiótico del trigo sarraceno ha sido objeto de estudio en diversas investigaciones. [Préstamo y col. \(2003\)](#) analizaron la variación de la microbiota de ratas luego de incorporar trigo sarraceno en su dieta. Los resultados mostraron un aumento significativo de *lactobacilos* y *bifidobacterias*, mientras que se redujo la cantidad de cepas potencialmente patógenas, en especial algunos *Clostridium* y enterobacterias, lo que supone un potencial efecto prebiótico del trigo sarraceno. En un estudio más reciente [Ren y col. \(2021\)](#) afirman que la suplementación con trigo sarraceno tartárico en ratas alimentadas con una dieta alta en grasas produce una modulación positiva de la microbiota, disminuyendo la relación *Firmicutes/Bacteroidetes* y aumentando la diversidad general de microorganismos, ayudando así a revertir la disbiosis. En relación al efecto que produce particularmente el almidón resistente proveniente de trigo sarraceno en la microbiota, [Zhou y col. \(2019\)](#) suplementaron con este componente la dieta alta en grasas de las ratas estudiadas. Los autores informaron que la suplementación produjo un aumento de *Lactobacillus*, *Bifidobacterias* y *Enterococcus*, y una inhibición de *Escherichia coli*, población que aumentó en las ratas que se alimentaron con la dieta alta en grasas. Esta modulación positiva trajo aparejado el aumento de AGCC y se observaron también niveles plasmáticos de colesterol, triglicéridos y glucosa significativamente más bajos. Los autores afirman que la suplementación de almidón resistente proveniente del trigo sarraceno inhibió la inflamación, y previno el desarrollo de resistencia a la insulina y la hipertrigliceridemia.

En relación a los estudios mencionados, se podría inferir que uno de los polisacáridos involucrados en ejercer efecto prebiótico en el trigo sarraceno es el almidón resistente, el cual es abundante en este pseudocereal. La presencia de amilasas bacterianas hace posible que el almidón resistente sea hidrolizado a carbohidratos más simples para luego ser fermentado. El efecto podría ser ejercido de manera directa, o como ya fue mencionado, podría ocurrir que algunos microorganismos consuman AR hidrolizado y como productos secundarios de fermentación se produzcan otros compuestos que puedan ser utilizados por otros microorganismos generando una modulación positiva. No obstante, no se descarta que otros polisacáridos como las pectinas, y hemicelulosas como los arabinogalactanos y xiloglucanos, los cuales están presentes de manera abundante, puedan aportar a este efecto modulador en las semillas enteras.

Capítulo 3

Consumo de pseudocereales en Argentina y su potencial como ingrediente funcional en una matriz alimentaria

C3.1 Consumo de Pseudocereales en Argentina

C3.1.1 Elaboración de la encuesta

Para tener conocimiento acerca del consumo de pseudocereales en nuestro país se realizó una encuesta empleando el programa de administración de formularios Google Forms. La encuesta elaborada consta de tres secciones. La primera es común para todos los encuestados (**Figura 15**), y busca reunir información personal, como su nombre, género, edad y lugar de residencia. La sección finaliza consultando a los participantes si consumen o no amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno. En caso negativo, el formulario los dirige a una segunda sección (**Figura 16**) enfocada en comprender el conocimiento que tienen los encuestados acerca de estos pseudocereales, los motivos por los cuales no los consumen y su intención de consumirlos en el futuro.

Encuesta sobre quinoa, amaranto y trigo sarraceno. El consumo de pseudocereales en nuestro país

Nombre *

Tu respuesta

Edad *

Tu respuesta

Género *

Femenino

Masculino

Prefiero no decirlo

Dónde vive? ciudad y provincia *

Tu respuesta

¿Padece de alguna patología que le restrinja el consumo de algún tipo de productos alimentarios? Si su respuesta fue afirmativa ¿Qué productos debe evitar consumir? *

Tu respuesta

¿Usted tiene algún tipo de formación asociada a la ciencia de los alimentos, elaboración de alimentos, nutrición, temáticas afines? De ser afirmativa su respuesta indique cuál es su formación *

Tu respuesta

Cómo considera que es su dieta? *

Omnívora

Vegetariana

Vegana

Otro: _____

¿Consumes quinoa, amaranto y/o trigo sarraceno, o algún producto elaborado con estos pseudocereales? *

Sí

No

Figura 15. Imagen de la primera sección de la encuesta de consumo de pseudocereales.

Si usted no consume quinoa, amaranto o trigo sarraceno, por favor responda las siguientes preguntas

¿Por qué no los consume? *

- No me gustan
- No estoy familiarizada/o con ellos
- Son económicamente inaccesibles
- No tengo el hábito de consumirlos
- No se encuentran fácilmente en el mercado
- Otro:

¿Conoce los beneficios de consumir estos granos y/o productos derivados de ellos? *

- Sí
- No

¿Sabe que son productos aptos para personas celíacas? *

- Sí
- No

¿Le interesaría incorporarlos en su dieta? *

- Me interesaría
- No me interesaría

¿Lo elegiría frente a otros alimentos más accesibles o más baratos pero que no aportan beneficios para la salud? *

- Sí
- No

¿Qué tipo de producto le gustaría encontrar elaborado con estos pseudocereales? *

- Tostadas
- Medallones Vegetarianos
- Barras de cereal
- Galletitas
- Bebidas vegetales
- Pastas secas
- Cereales/granola
- Snacks
- Otro:

Figura 16. Imagen de la segunda sección de la encuesta de consumo de pseudocereales

Si usted consume quinoa, amaranto o trigo sarraceno por favor, responda cada una de las siguientes preguntas

¿Con cuánta frecuencia consume estos productos? *

- Diariamente
- Una a tres veces a la semana
- 2 veces al mes
- Una vez al mes
- Menos de una vez al mes
- Otro: _____

¿Por qué consume estos productos? Indique la razón por la que los consume. *

- Porque me gustan
- Porque son buenos para la salud
- Por recomendación
- Otro: _____

¿Dónde compra generalmente estos productos? *

- Dietética o Tienda Natural
- Almacén de barrio
- Supermercado
- Ferias
- Online
- Otro: _____

¿Cuán accesibles económicamente cree que son estos productos? *

- Muy baratos
- Baratos
- Precio razonable
- Costosos
- Muy Costosos

¿Conoce los beneficios de consumir estos granos y/o productos derivados de ellos? *

- Sí
- No

¿Sabe que son productos aptos para personas celíacas? *

- Sí
- No

¿Los elegiría frente a otros alimentos más accesibles o más baratos pero que no aportan estos beneficios para la salud? *

- Sí
- No

Por favor mencione aquellos granos, harinas y/o productos derivados de quinoa, amaranto y trigo sarraceno que consume. *

TU RESPUESTA _____

¿Qué tipo de producto le gustaría encontrar elaborado con estos pseudocereales? *

- Tostadas
- Medallones Vegetarianos
- Barras de cereal
- Galletitas
- Bebidas vegetales
- Pastas secas
- Cereales/granola
- Snacks
- Otro: _____

Figura 17. Imagen de la tercera sección de la encuesta de consumo de pseudocereales

En el caso de aquellos encuestados que en la primera sección hayan respondido que consumen amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno, el formulario los direcciona a una tercera sección (**Figura 17**), la cual está destinada a conocer la frecuencia de consumo, cómo adquieren estos alimentos, los motivos por los cuales los consumen y el conocimiento que tienen sobre ellos. Además, esta sección busca identificar qué alimentos elaborados con pseudocereales consumen, y cuáles les gustaría encontrar en el mercado.

La encuesta fue publicada en el mes de junio del 2023 en distintas plataformas digitales, a través de redes sociales tales como Instagram y Facebook, para que quienes desearan realizarla tuviesen libre acceso. Los datos recolectados fueron luego trasladados a hojas de cálculo de Google para su posterior organización, depuración y análisis. Estos tratamientos permitieron evidenciar ciertas tendencias y exponerlas en gráficos mediante diferentes formatos. En la encuesta participaron 425 personas de la provincia de Buenos Aires. Es importante destacar que el objetivo de la encuesta consistió no sólo en obtener información que permita conocer los patrones de consumo de pseudocereales en la provincia de Buenos Aires, e identificar el interés que hay en ellos por parte de la población. A través de la misma se buscó también reconocer cuáles podrían ser aquellas matrices alimentarias que contengan uno o más pseudocereales en su formulación y que sean del agrado de los consumidores. A raíz de las respuestas, y luego de un análisis de los productos disponibles en los diversos locales de venta bonaerense, se buscará también evidenciar si existe un espacio donde las necesidades de los consumidores no se encuentren cubiertas por el mercado argentino.

C3.1.2 Análisis y discusión de resultados de la primera sección

Estas preguntas buscan conocer el perfil de los encuestados, de modo de poder segmentar los datos y buscar tendencias de consumo generales dentro de los diferentes subgrupos y así, orientar la elección de las matrices alimentarias.

Se puede observar en la **Figura 18a** que el 80,5% de las personas que respondieron la encuesta fueron mujeres, el 19,1% hombres, mientras que un pequeño porcentaje de 0,4% optaron por no decirlo. Al ser una encuesta online de acceso libre, no es un fiel reflejo de la distribución poblacional de hombres y mujeres de Argentina, como tampoco lo es el rango de edades. En cuanto a la edad de las personas encuestadas, el 44% se encuentran entre los 18 y 29 años, el 36,7% tienen entre 30 y 44 años, el 15,3% entre 45 y 59 años, mientras que el 4,0% de los encuestados son mayores de 60 años (**Figura 18b**).

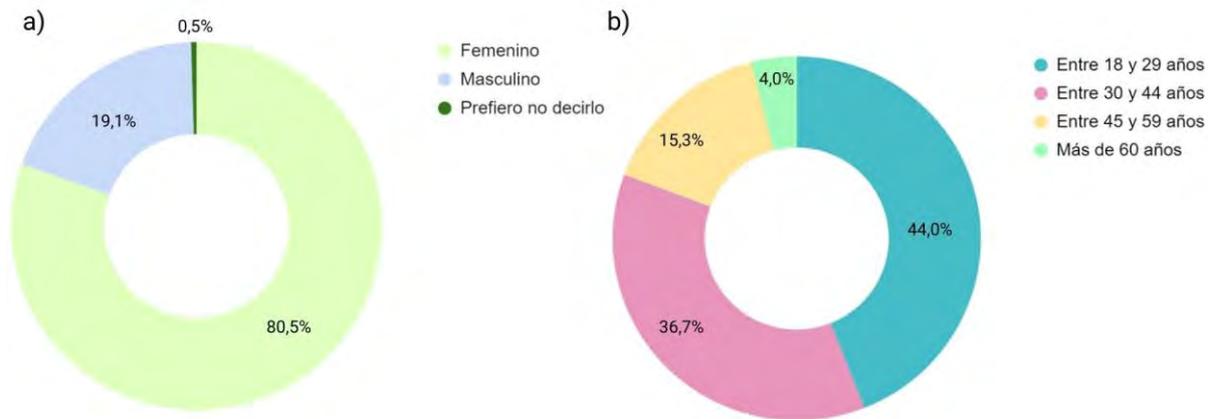


Figura 18. a) Distribución porcentual de género de las personas encuestadas. b) Distribución porcentual del rango de edades de las personas encuestadas.

Con respecto al tipo de dieta que llevan adelante las personas encuestadas, el 90,4% contestó que su dieta es omnívora, mientras que el 8,0% sigue una dieta vegetariana y solo el 1,6% de los encuestados es vegano (**Figura 19a**). Es interesante destacar que el 100% de las personas veganas que respondieron la encuesta consumen amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno. Además, el 75,8% de los vegetarianos encuestados también manifestó consumirlos, y aunque es una cifra menor comparada con la de los veganos, aún sigue siendo un porcentaje muy elevado. En contraste, solo un 42,6% de las personas que adoptan dietas omnívoras consumen estos pseudocereales (**Figura 19b**). Los resultados sugieren que existe una preferencia de las personas vegetarianas y veganas por este tipo de semillas y sus productos derivados. Ello podría deberse a que estas personas deben recurrir a fuente de proteínas y nutrientes que no provengan de animales, encontrando a los pseudocereales como una interesante alternativa. A pesar de las diferencias encontradas entre las diversas dietas adoptadas por las personas encuestadas, se destaca que, del total de los participantes, una cantidad considerable del 46,1% consume pseudocereales (**Figura 20a**).

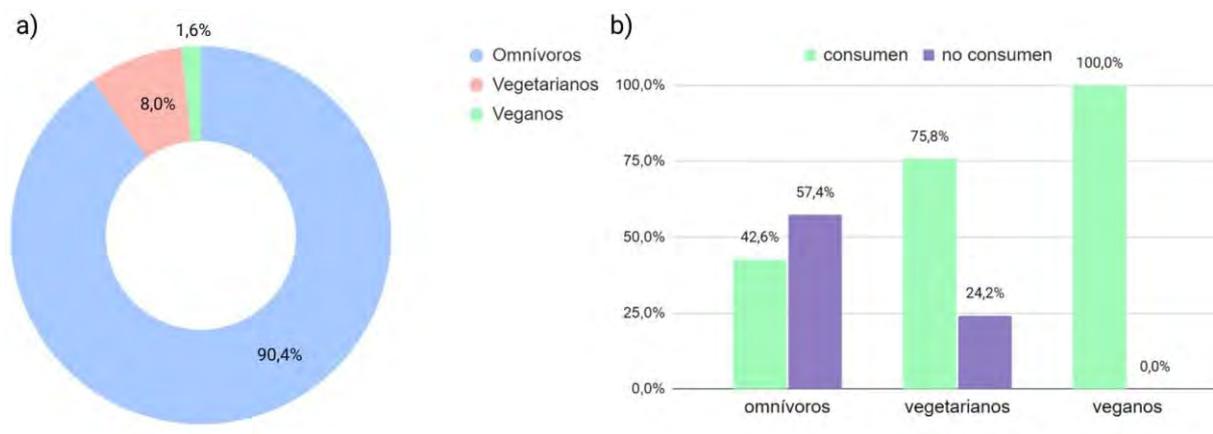


Figura 19. a) Distribución porcentual de los tipos de dieta adoptadas por las personas encuestadas. b) Distribución porcentual de las personas que consumen pseudocereales y aquellas que no en función del tipo de dieta adoptada.

Según los datos recabados en la encuesta, se puede apreciar una diferencia en el consumo de pseudocereales entre hombres y mujeres. Los datos indican que el 49,7% de las mujeres encuestadas incluyen a los pseudocereales en su dieta, mientras que solo el 32,1% de los hombres manifestó consumirlos (**Figura 20b**). Es posible que las mujeres estén más dispuestas a explorar diferentes alternativas y adoptar nuevos hábitos alimenticios, mientras que los hombres se adhieren más a los patrones dietéticos tradicionales. Además, teniendo en consideración que las mujeres actualmente se encuentran en su mayoría más familiarizadas e involucradas en las tareas de elaboración de las comidas y en la toma de decisiones en la cocina, se podría pensar que este hecho se encuentre vinculado con su posibilidad para incorporar estos granos alternativos a su dieta. En cuanto a la edad, no se observan grandes diferencias en los patrones de consumo de pseudocereales entre los distintos rangos etarios (**Figura 2c**). No obstante, el rango de personas entre 45-59 años se aleja un poco de los demás, siendo estas personas las que menos pseudocereales consumen. En este caso solo el 35,4% de los encuestados respondieron que incluyen los pseudocereales en su dieta, mientras que para los demás rangos etarios el porcentaje de consumidores se encuentra entre el 45,5% y 52,9%.

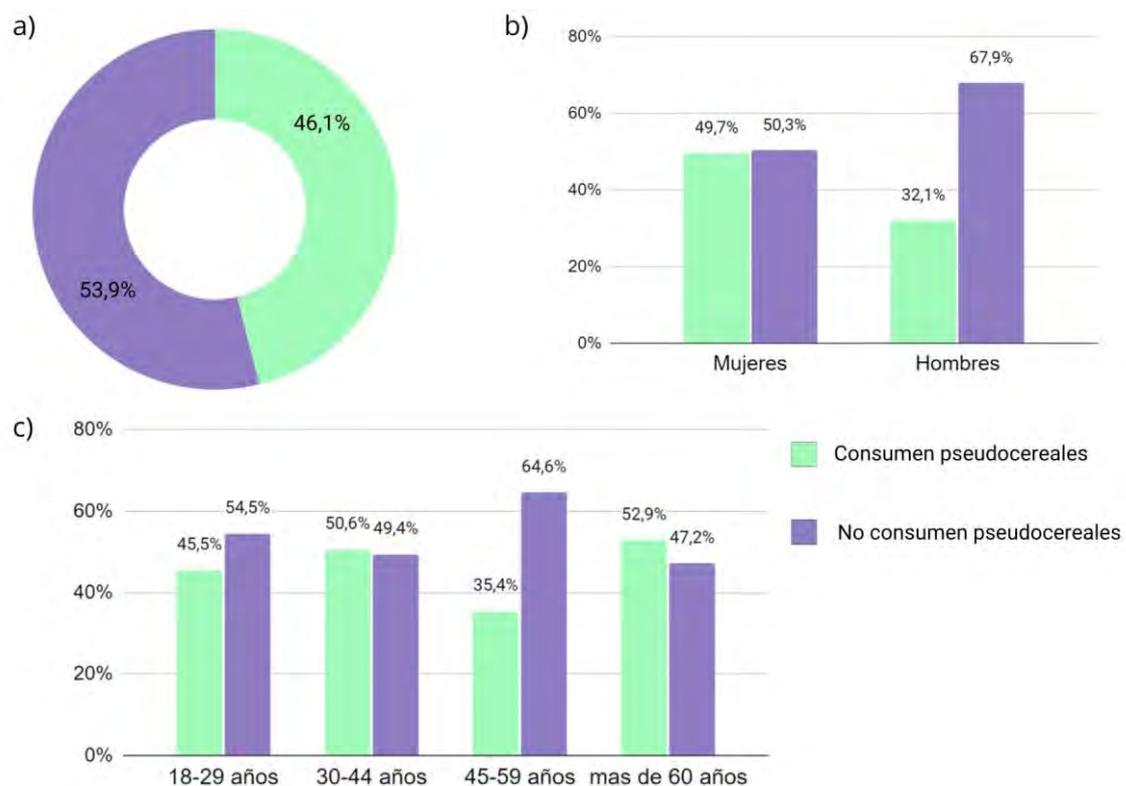


Figura 20. a) Distribución porcentual de las personas que consumen y aquellas que no consumen pseudocereales. b) Distribución porcentual del consumo de pseudocereales en función del género. c) Distribución porcentual del consumo de pseudocereales en función del rango etario.

C3.1.3 Análisis y discusión de resultados de la segunda sección

Esta sección solo incluye a los encuestados que no incorporan amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno como parte de su dieta. Este enfoque permite obtener información valiosa acerca de los motivos por los cuales estas personas aún no incorporan pseudocereales en su dieta, y podría ayudar a arribar a una mejor comprensión de las necesidades de este grupo en particular. Mediante el análisis de los datos de esta sección se podría pensar en desarrollar estrategias para lograr que una mayor cantidad de personas puedan y deseen incorporar los pseudocereales en su dieta.

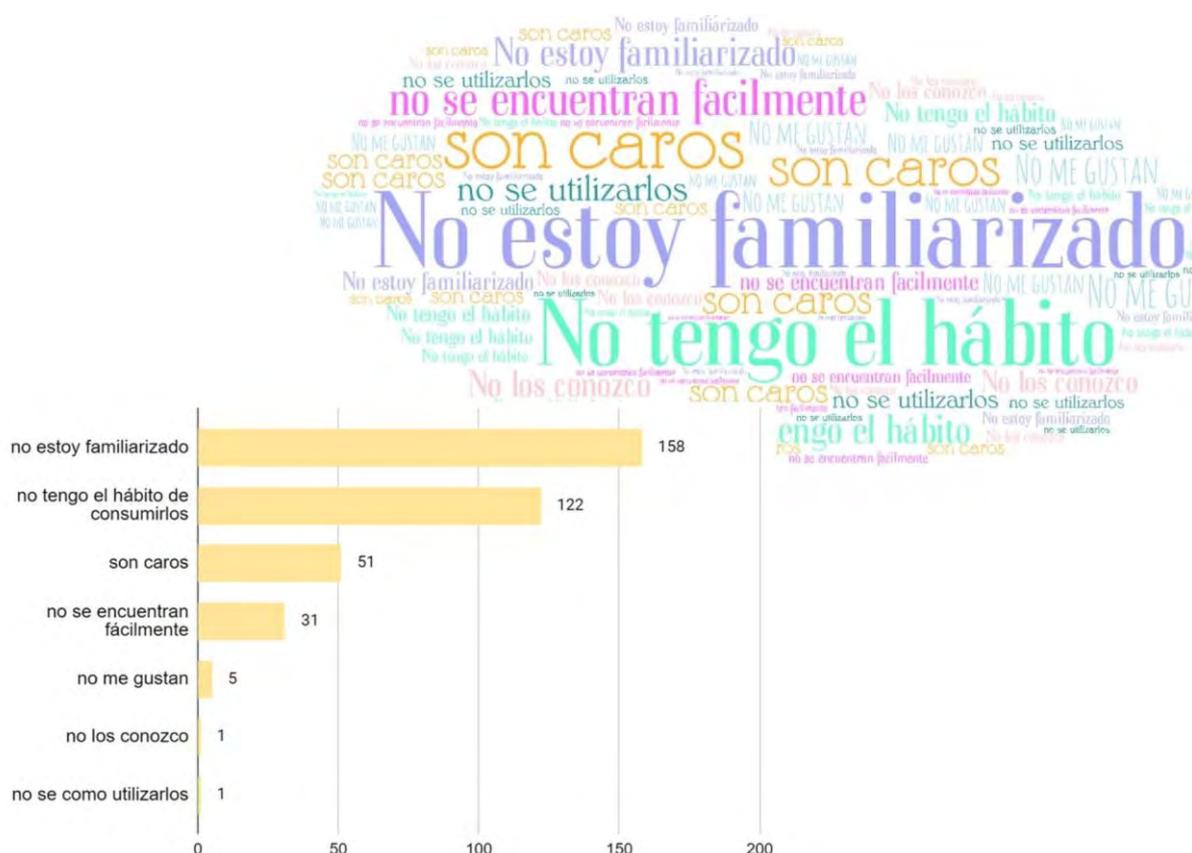


Figura 21. Gráfico de frecuencia de los motivos por los cuales los encuestados no consumen amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno. El número al final de las barras indica la cantidad de veces que fue seleccionada la respuesta, debido a que la pregunta admitía más de una respuesta por persona. Número total de respuestas: 229

La **Figura 21** muestra un gráfico de frecuencia acompañado por una nube de palabras, que detallan los motivos por los cuales las personas encuestadas dicen no consumir los diferentes pseudocereales. Se puede observar que la falta de familiaridad con estos alimentos se destaca como el principal motivo por el cual los encuestados no incluyen a estos alimentos en su dieta. Además, un número importante de los participantes expresó que no tiene el hábito de consumirlos. Aunque son conscientes de su

existencia, no han logrado incorporarlos en su rutina alimentaria debido a la falta de costumbre, al desconocimiento de sus beneficios, entre otros factores. Por otro lado, el aspecto económico también fue mencionado como un obstáculo, ya que varios participantes señalaron que les resultan económicamente inaccesibles. En menor medida algunos encuestados expresan que estos alimentos no se encuentran tan fácilmente en el mercado, lo que dificulta su adquisición. El hecho de que no les gusten fue un motivo escasamente nombrado, lo cual es un aspecto positivo, ya que implica que, en la gran mayoría de los encuestados, no es el sabor y la textura lo que los hace no consumir estas semillas, sino que parece estar más ligado a la desinformación y la falta de hábitos. En última instancia, una sola persona mencionó no conocer su existencia, mientras otra persona dijo no saber cómo utilizarlos. Todos estos resultados podrían estar asociados al hecho de que estos granos no forman parte de las materias primas tradicionalmente utilizadas en la provincia de Buenos Aires, y por tanto el proceso de conocimiento e incorporación de los mismos puede ser algo lento, sobre todo si no es acompañado de divulgación y publicidad.

En relación al conocimiento que tienen los encuestados acerca de los pseudocereales, se observa una falta de información generalizada. Solamente el 25,3% de las personas manifestó conocer las ventajas asociadas al consumo de estos granos (**Figura 22a**). En contraste, el 52,4% de los encuestados que no consumen pseudocereales están al tanto de que son aptos para incluir en la dieta de personas celíacas (**Figura 22b**). Aunque es esperable que las personas que no consumen pseudocereales y no están familiarizados con ellos, no conozcan con detalle sus beneficios, los resultados sugieren la necesidad de promover una mayor educación nutricional en la población. A pesar de la falta de información, un 87,8% de los encuestados en esta sección expresaron su interés por consumir pseudocereales en el futuro (**Figura 22c**), mientras que un 74,7% dijo que elegiría a los pseudocereales sobre otros alimentos más accesibles (**Figura 22d**). Estos resultados brindan una perspectiva optimista para el mercado de los pseudocereales y sugiere que podría haber un aumento de la demanda de estos productos para los próximos años, siempre y cuando se acompañe la oferta de estos alimentos, con una mayor información sobre ellos y sus beneficios para los potenciales consumidores.

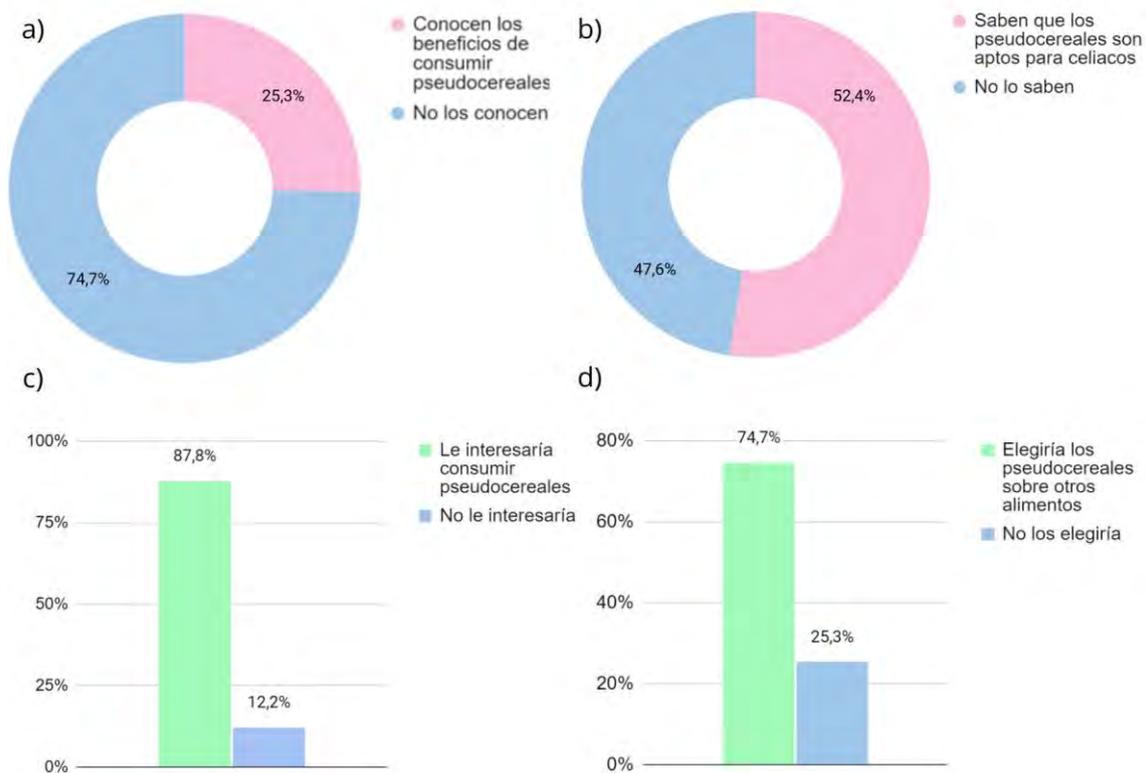


Figura 22. a) Distribución porcentual de aquellas personas familiarizadas con los beneficios que aportan los pseudocereales b) Distribución porcentual de aquellas personas conscientes de que los pseudocereales son aptos para personas celíacas. c) Distribución porcentual de aquellas personas interesadas en incorporar los pseudocereales a su dieta. d) Distribución porcentual de aquellas personas que elegirían a los pseudocereales por sobre otros alimentos más económicos, pero nutricionalmente más pobres.

Finalmente, se consultó a los encuestados respecto a cuáles serían los alimentos donde les gustaría encontrar a los pseudocereales incorporados como ingredientes en su formulación. Como se muestra en la **Figura 23**, las tostadas son el producto de mayor preferencia, seguido por las galletitas. Los snacks y las barras de cereal también fueron de los alimentos más destacados por los encuestados a la hora de buscar opciones donde incluir a los pseudocereales. Estos datos sugieren un interés de los encuestados por alimentos destinados a momentos del día específicos, como desayunos y meriendas, y además denota una demanda por productos fáciles de comer y transportar. Las pastas secas también se mencionaron como una opción bastante popular, lo cual es una propuesta por demás interesante teniendo en cuenta que éstos son alimentos altamente consumidos y de distribución masiva, que podrían favorecer el descubrimiento de los pseudocereales por parte de muchos consumidores. Por otro lado, los cereales y granolas también despertaron curiosidad por parte de los encuestados, sumándose al grupo de alimentos que generalmente se consumen en desayunos y meriendas. Finalmente, los medallones vegetarianos y las bebidas vegetales fueron los alimentos menos mencionados por los encuestados de esta sección.



Figura 23. Gráfico de frecuencia que señala la preferencia de los encuestados en cuanto a las matrices alimentarias donde se podría incluir amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno. El número al final de las barras indica la cantidad de veces que fue seleccionada la respuesta, debido a que la pregunta admitía más de una respuesta por persona. Número total de respuestas: 229

C3.1.4 Análisis y discusión de resultados de la tercera sección

Esta sección incluye específicamente a aquellos encuestados que ya consumen amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno. La misma se diseñó con el fin de revelar los hábitos de consumo de pseudocereales de los habitantes de la provincia de Buenos Aires, así como para evaluar el conocimiento que tienen los consumidores acerca de los mismos. Los datos recabados podrían proporcionar una visión sobre las preferencias de los encuestados, ya que esto resulta fundamental para comprender la demanda y las necesidades de los consumidores en relación a los pseudocereales. En este sentido, la encuesta podría contribuir en la mejora y diversificación de la oferta de productos que contienen estos granos en la provincia de Buenos Aires.

La **Figura 24** muestra la frecuencia de consumo de pseudocereales, segmentado en rangos etarios. Se puede apreciar que la mayoría de los encuestados consume pseudocereales aproximadamente 2 veces al mes, seguido por aquellos que los consumen entre 1 y 3 veces por semana. Las respuestas que indican el consumo de una vez al mes y menos de una vez al mes fueron igualmente frecuentes entre los encuestados, lo que implica que hay una proporción significativa que consume estos granos

esporádicamente. En último lugar, se encuentra el grupo de los que consumen pseudocereales diariamente, siendo ésta la respuesta menos frecuente. Teniendo en cuenta estos datos, podría asumirse que la mayoría de los encuestados consumen pseudocereales de forma esporádica, aunque una parte considerable también los incluye semanalmente. Por otro lado, los grupos etarios comprendidos entre los 18 y 29 años y entre los 30 y 44 años son los que más frecuentemente consumen pseudocereales. Es posible que estos grupos de edad estén más abiertos a buscar otras alternativas a los alimentos tradicionales. Además, estas personas se encuentran más expuestas a la información a través de los medios digitales y redes sociales, lo que podría facilitar un acercamiento a los nuevos productos. En los mayores de 60 años el consumo de pseudocereales es menos frecuente, aunque cabe destacar que el número de encuestados pertenecientes a este grupo fue reducido, limitando la posibilidad de realizar una generalización a partir de los datos obtenidos. Sin embargo, es probable que las personas mayores de 60 años consuman pseudocereales por motivos relacionados a la búsqueda de una dieta equilibrada y el cuidado de su salud. Por otro lado, el rango etario entre los 45-59 años muestra una de las menores frecuencias de consumo, lo cual podría deberse a diversos factores, por ejemplo, el tener una menor predisposición a probar alimentos menos tradicionales. Curiosamente, esta franja etaria también se corresponde con la que menor consumo de pseudocereales tiene en general (**Figura 20c**).

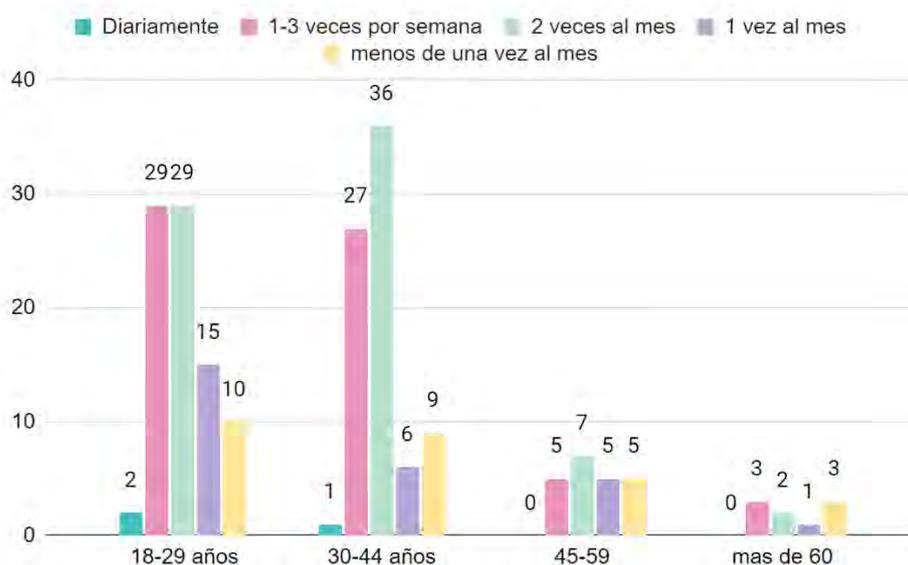


Figura 24. Frecuencia de consumo de amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno en función del rango etario. El número sobre las barras indica el número de encuestados que marcó esa respuesta. Número total de respuestas:195

Al consultar las razones que llevan a los encuestados a incluir los pseudocereales en su dieta, se destacan principalmente dos motivos. Por un lado, una gran cantidad de los encuestados indicó que consume estos granos porque les gustan, mientras que una proporción similar respondió que los incorpora a su dieta porque son buenos para la salud (**Figura 25a**). Estos datos reflejan no solo que estos alimentos son bien aceptados por sus características organolépticas, sino también que los consumidores están interesados en obtener los beneficios que puedan aportar a la salud. En menor medida, algunas personas expresaron que consumen pseudocereales por recomendación, ya sea de profesionales de la salud, amigos o familiares, mientras que un grupo pequeño de personas expresó otros motivos para consumirlos, como por ejemplo el incluirlos como parte de una dieta sin gluten por ser celíaco o intolerante al gluten. Más aún, según los datos recopilados, se observa que una gran mayoría de los encuestados prefieren adquirir estos productos y sus derivados en dietéticas y tiendas naturales (**Figura 25b**), esto podría deberse a que estos establecimientos ofrecen una amplia variedad de opciones de productos saludables y alternativos, que por lo general no se encuentran en otros establecimientos. En menor medida los encuestados adquieren estos granos y sus derivados en supermercados, lo que indica que de a poco la oferta de pseudocereales va creciendo en este tipo de establecimientos. Al ser comercios de ventas masivos, tienen la ventaja de poder acercar los productos a un número mayor de personas y a precios más accesibles, lo que podría acelerar el proceso de conocimiento e inclusión de estas semillas en la dieta de los habitantes.

En relación a la percepción que tienen los consumidores respecto del precio de los pseudocereales, un 60,7% indicó que éstos poseen un precio razonable (**Figura 25c**). Por otro lado, un considerable 26,5% de los encuestados en esta sección piensa que los pseudocereales son costosos, lo cual puede estar dado, entre otros factores, por una comparación entre éstos y otros granos de uso similar, como ciertos cereales de consumo masivo. Por otro lado, un 9,2% de los encuestados los perciben como baratos, mientras que las opciones muy caro y muy barato, fueron escasamente elegidas. Es interesante destacar, como se aprecia en la **Figura 25d**, que el 74,5% de los consumidores encuestados mencionó que optaría por los pseudocereales incluso sobre otros alimentos de menor costo que no presenten beneficios para la salud. Esta elección refleja la importancia que dan los consumidores al efecto beneficioso que puedan aportar los alimentos a la salud, y la creciente conciencia sobre la importancia de una alimentación saludable y equilibrada. Si bien es considerable el porcentaje de personas que elegirían alimentos más baratos y con menos beneficios para la salud que los pseudocereales, este hecho podría deberse principalmente a motivos económicos y de gustos personales.

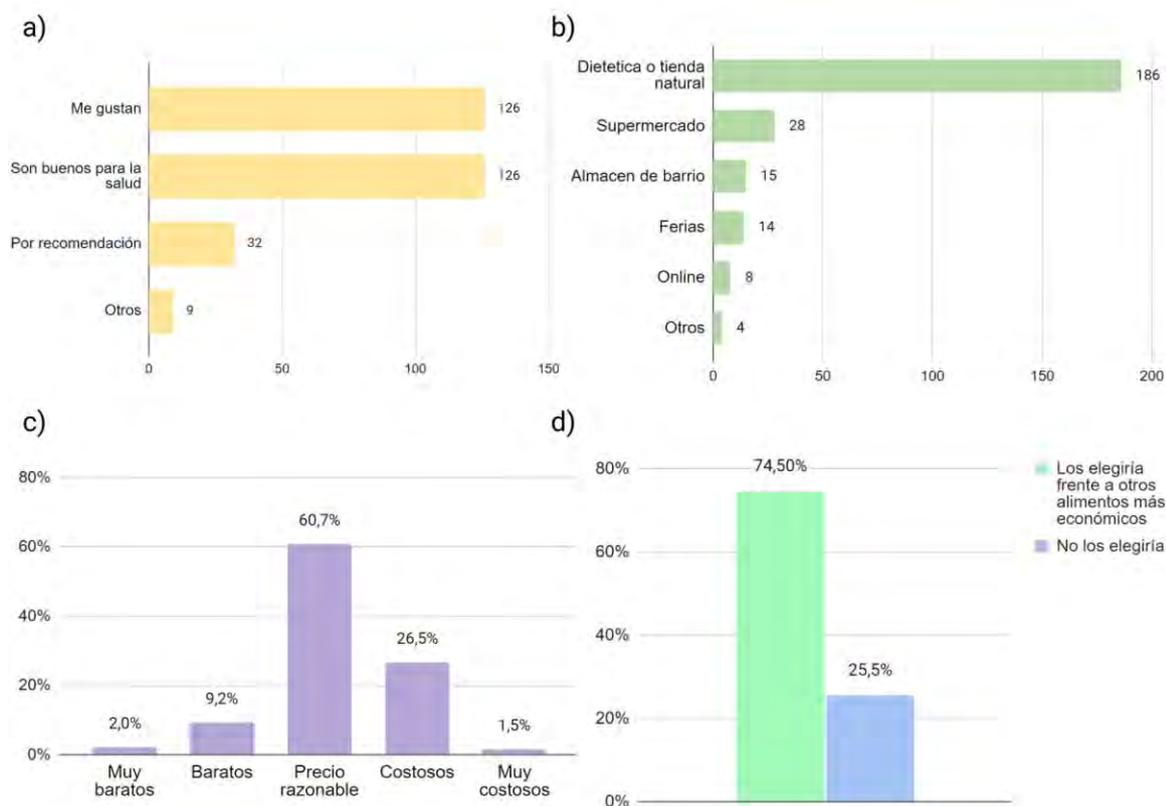


Figura 25. a) Gráfico de frecuencia que señala la razón por la cual los encuestados consumen pseudocereales en cuanto a las matrices alimentarias donde se podría incluir amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno. b) Gráfico de frecuencia que señala los establecimientos donde los encuestados adquieren los pseudocereales. El número al final de las barras indica la cantidad de veces que fue seleccionada la respuesta, debido a que la pregunta admitía más de una respuesta por persona. Número total de respuestas: 196 c) Distribución porcentual de la percepción de los precios de los pseudocereales por parte de los encuestados. d) Distribución porcentual de aquellas personas que elegirían a los pseudocereales por encima de alimentos más económicos, pero con menos beneficios para la salud.

En cuanto al conocimiento que tienen los consumidores encuestados sobre los pseudocereales, un 76,5% manifestó estar familiarizado con los beneficios que éstos aportan a la salud (**Figura 26a**). En este aspecto se denota una clara disparidad en el conocimiento que tienen aquellas personas que consumen pseudocereales respecto de aquellas que no lo hacen (**Figura 22a**). Estos resultados coinciden con el hecho de que muchas personas consumidoras de estos productos expresan que lo hacen debido a los beneficios que los mismos aportan a la salud (**Figura 25a**). Además, las personas que buscan tener una dieta más equilibrada y saludable probablemente son quienes se informan más al respecto, y ello podría derivar en la incorporación a sus dietas de nuevos alimentos como los pseudocereales. Siguiendo la misma tendencia, un 77% de los encuestados dijo saber que los pseudocereales no contienen gluten (**Figura 26b**).

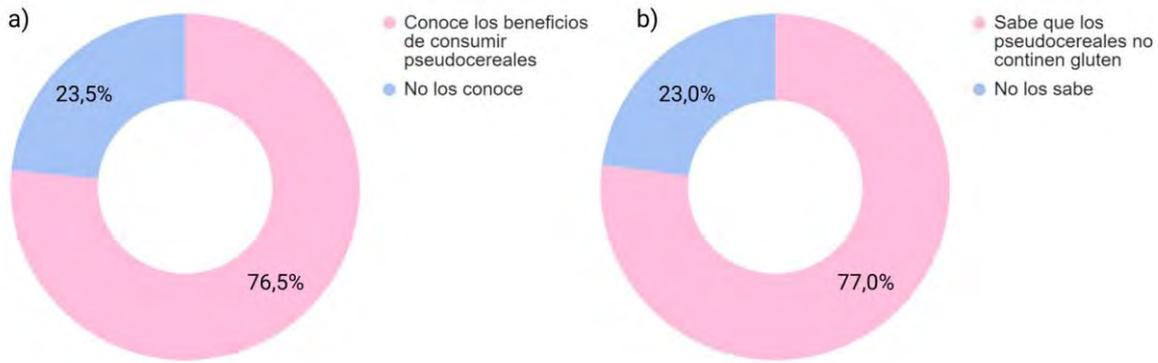


Figura 26. a) Distribución porcentual de los encuestados que conocen los beneficios de consumir pseudocereales. b) Distribución porcentual de los encuestados que saben que los pseudocereales no contienen gluten.

En la **Figura 27** se puede apreciar cómo, a la hora de consumir los pseudocereales y sus derivados, que la gran mayoría de los encuestados elige a las semillas enteras y las emplea en diversas preparaciones culinarias como por ejemplo ensaladas y sopas. De los tres pseudocereales estudiados, la quinoa se destaca como el pseudocereal más consumido. Por otro lado, los panificados, especialmente aquellos elaborados con trigo sarraceno, las pastas secas, galletitas, cereales/granola y barras de cereal, también son relativamente populares entre los participantes de la encuesta. Las opciones más elegi-

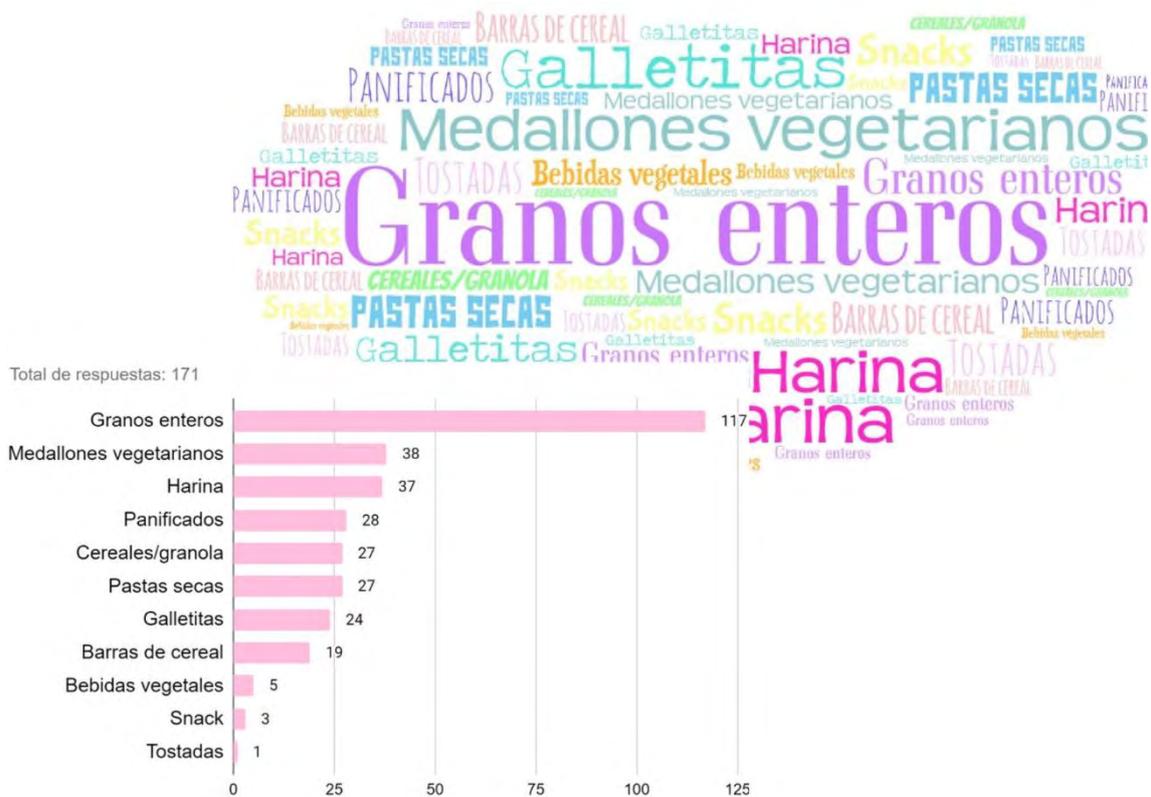


Figura 27. Gráfico de frecuencia que señala el tipo de productos derivado de pseudocereales que consumen aquellas personas encuestadas. El número al final de las barras indica la cantidad de veces que fue seleccionada la respuesta, debido a que la pregunta admitía más de una respuesta por persona. Número total de respuestas: 171

das en este caso son las que permiten hacer preparaciones en casa, y en menor medida los alimentos industrializados. Un motivo de esta preferencia podría ser la diferencia de precio, ya que los alimentos como las semillas y la harina por lo general son más económicos.

Se consultó a los consumidores, de igual forma que a los encuestados que no consumen pseudocereales, qué tipo de alimentos que contengan amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno les gustaría encontrar en el mercado (**Figura 28**). En este caso, los alimentos que despertaron mayor interés fueron las pastas secas, las tostadas, los snacks y las galletitas. De todas formas, las barras de cereal, los medallones vegetarios y los cereales/granola también fueron bastante populares entre los encuestados, mientras que las bebidas vegetales fueron las menos elegidas. Estas elecciones podrían estar motivadas por una búsqueda de alternativas más saludables, o que aporten nutrientes extra en comparación a los productos tradicionales, como la pasta seca de trigo, o los productos para desayuno. De la misma manera, matrices del tipo snack, galletitas y barras de cereal brindan una alternativa sencilla para comer y de fácil transporte, pero en muchas ocasiones son nutricionalmente inadecuadas, presentando exceso de azúcares y grasas saturadas, por lo que opciones sanas de estos alimentos que contengan pseudocereales, podrían ser de interés para los consumidores.

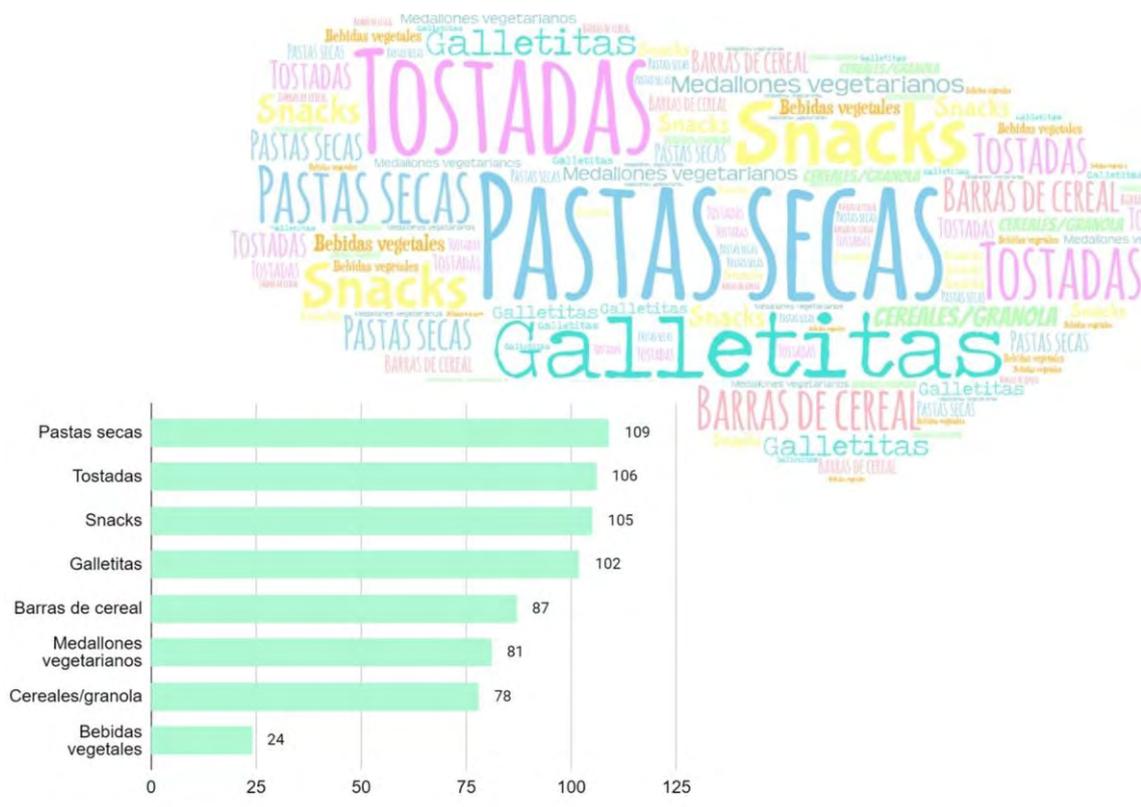


Figura 28. Gráfico de frecuencia que señala la preferencia de los consumidores encuestados en cuanto a las matrices alimentarias donde se podría incluir amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno. El número al final de las barras indica la cantidad de veces que fue seleccionada la respuesta, debido a que la pregunta admitía más de una respuesta por persona. Número total de respuestas: 196

C3.2 Comercialización de Pseudocereales en Argentina

C3.2.1 Elaboración de la encuesta

Con el objetivo de analizar la oferta de pseudocereales en Argentina y comprender aspectos relacionados con su comercialización, se llevó a cabo una encuesta a distintos comercios comprendidos dentro del rubro dietéticas y tiendas naturales. La misma se realizó empleando el programa de administración de formularios Google Forms y contaba con tres secciones. La primera sección está destinada a conocer el tipo de comercio, sus formas de venta (local a la calle, mayorista, venta online, etc.) y si comercializan o no granos o productos elaborados con amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno (**Figura 29a**). En caso de una respuesta negativa, el formulario los dirige automáticamente a una segunda sección que solo pregunta los motivos por los cuales no venden ninguno de estos pseudocereales (**Figura 29b**). Mientras que los comercios que comercializan pseudocereales, son dirigidos a una tercera sección (**Figura 29c**), en la cual se intenta ahondar en cuestiones tales como el precio de los mismos, el tipo de alimentos que se comercializan y cuales piensan que serían los más elegidos por sus clientes. La encuesta fue enviada a los comercios por varios medios digitales como email y redes sociales, aunque en otros casos se realizó de manera presencial. En total fueron 19 los comercios encuestados.

C3.2.2 Análisis y discusión de los resultados de la encuesta a comercios

La mayoría de los comercios encuestados ofrecen amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno a sus clientes. 18. Todos ellos son dietéticas con local abierto al público, de las cuales 4 son también mayoristas y 2 ofrecen, además, venta online a través de su página web. Se destaca que, de los 19 comercios encuestados, tan solo uno no ofrece amaranto, quinoa ni trigo sarraceno. Los principales motivos de esta decisión radican en que sus clientes no demandan con frecuencia estos productos y además los consideran algo costosos. Esto podría estar asociado también, a que el comercio en cuestión es una pequeña dietética de barrio.

En cuanto a los productos de quinoa, el alimento que con mayor frecuencia ofrecen las dietéticas encuestadas son las semillas, seguido por medallones vegetarianos, harina y cereales de desayuno o granolas. Varios comercios también ofrecen pastas secas de quinoa, galletitas y bebidas vegetales, mientras que las barras de cereal y las tostadas son los productos de menor oferta. Se puede apreciar en la **Figura 30a** que los productos elaborados con quinoa fueron los más frecuentemente mencionados por los establecimientos y también aquellos que se encontraban en una mayor variedad

a)

Encuesta de Pseudocereales: Quinoa, Amaranto y Trigo Sarraceno

Nombre del Establecimiento y Ubicación (ciudad) *

Tu respuesta

¿Vende quinoa, amaranto y/o trigo sarraceno en su establecimiento (puede considerarse su venta en grano, harina y cualquier producto derivado)? *

Sí

No

Tipo de establecimiento: *

Dietética

Mayorista

Página web

Venta a través de Redes sociales (sin página web ni negocio)

Otro: _____

b)

Si no vende ninguno de estos productos

¿Por qué motivo no los vende? *

No los conocía

No son muy solicitados por mis clientes

Resultan económicamente inaccesibles

Otro: _____

c)

Si vende alguno de esos productos

¿Vende quinoa en granos, harina y/o productos derivados? ¿Qué productos y a qué precio? *

Tu respuesta

¿Vende amaranto en granos, harina y/o productos derivados? ¿Qué productos y a qué precio? *

Tu respuesta

¿Vende trigo sarraceno en granos, harina y/o productos derivados? ¿Qué productos y a qué precio? *

Tu respuesta

¿Cuál es el porcentaje aproximado de sus clientes que consume alguno de estos pseudocereales o productos derivados? *

0 - 25%

25-50%

50-75%

75-100%

¿Cuál cree que es el orden de consumo entre los diferentes pseudocereales y/o sus productos derivados? Seleccione el orden que considere correcto *

Quinoa-Amaranto-Trigo Sarraceno

Quinoa-Trigo Sarraceno-Amaranto

Amaranto-Quinoa-Trigo Sarraceno

Amaranto-Trigo Sarraceno-Quinoa

Trigo Sarraceno-Amaranto-Quinoa

Trigo Sarraceno-Quinoa-Amaranto

¿Cuán accesibles económicamente cree que son para sus clientes? *

Muy baratos

1

2

3

4

5

Muy Costosos

¿Cuál es el rango de edad de los clientes que los consumen? *

Menores de 18 años

18 a 35 años

35 a 50 años

Mayores de 50 años

¿Cree que sus clientes consumirían productos elaborados con estos pseudocereales (galletitas, fideos secos, barras energéticas, Bebidas vegetales, etc...)? ¿Cuáles cree que serían los más populares? *

Tu respuesta

¿Cómo consigue estos pseudocereales y sus productos derivados? ¿cómo llegan a su comercio, con quién se tiene que contactar para conseguirlos? *

Tu respuesta

¿Se dificulta conseguir estos productos en alguna época particular del año? *

Sí, en verano

Sí, en otoño

Sí, en invierno

Sí, en primavera

No

Otro: _____

Figura 29. a) Imagen de la primera sección de la encuesta a comercios. b) Imagen de la segunda sección de la encuesta a comercios. c) Imagen de la tercera sección de la encuesta a comercios.

de productos, indicando que la oferta de productos elaborados con quinoa es más amplia con respecto a la de los otros pseudocereales. En referencia a la venta de amaranto, las semillas ocupan el primer lugar de los alimentos que más ofrecen los comercios encuestados (**Figura 30b**), seguido de las pastas secas y las galletitas. Fueron nombrados también los medallones vegetarianos, las barras de cereal, los cereales/granola, harina y bebidas vegetales. Aunque existe una variedad considerable de productos de amaranto a la venta, la frecuencia de la mayoría de ellos es muy baja, lo que indica que pocos establecimientos ofrecen este tipo de productos. No obstante, la **Figura 30b** evidencia que es muy frecuente la venta de sus semillas. En relación a la venta de trigo sarraceno, se puede apreciar en la **Figura 30c** que la variedad de productos ofrecidos por los comercios encuestados se reduce en comparación a aquellos de quinoa y amaranto. En este caso, los alimentos más frecuentemente ofrecidos son las semillas y la harina, lo que indica que la mayoría de los comercios venden una o ambas opciones. Aunque también se nombran las galletitas, pastas secas y bebidas vegetales, la frecuencia es demasiado baja, indicando que son realmente escasos los productos industrializados de trigo sarraceno a la venta, siendo su oferta mucho menos frecuente que la oferta de quinoa y amaranto en los establecimientos encuestados.

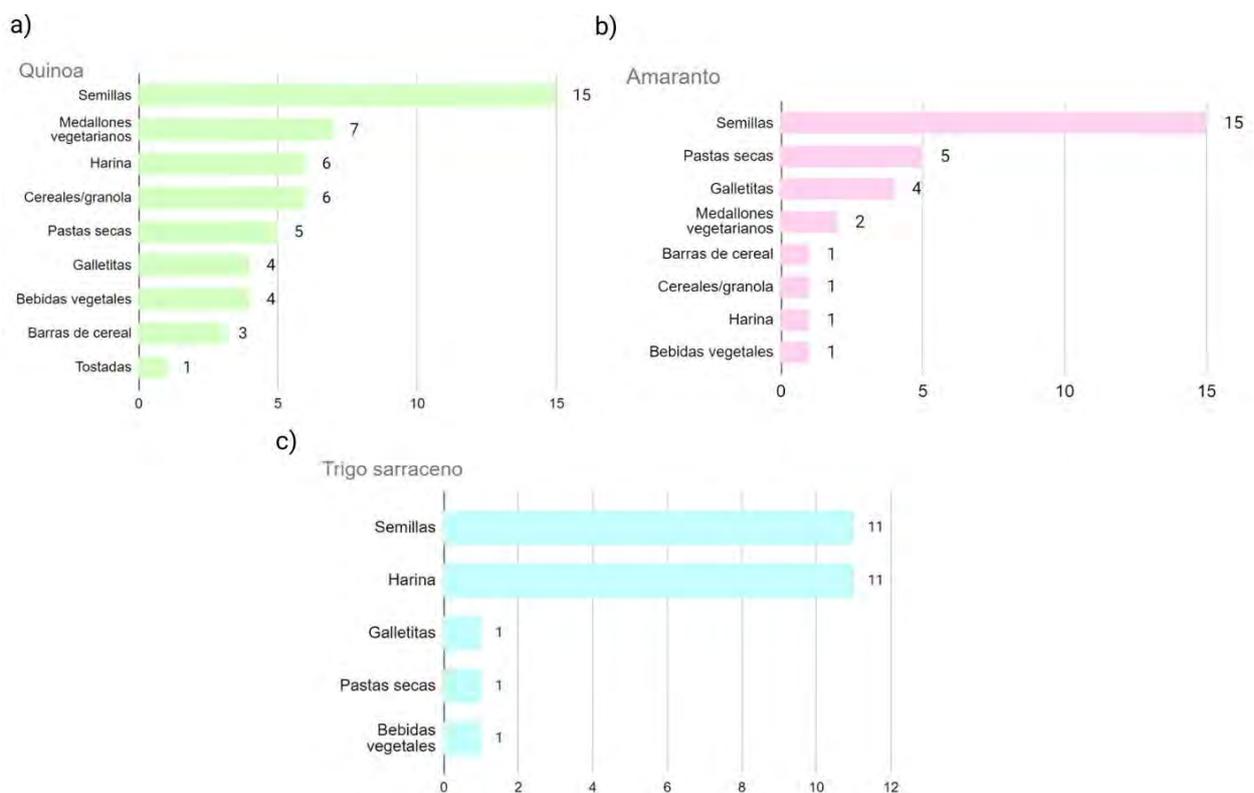


Figura 30. a) Gráfico de frecuencia que señala los alimentos a base de quinoa comercializados por los establecimientos encuestados. El número al final de las barras indica la cantidad de menciones, dado que la pregunta admitía más de una respuesta por establecimiento. Número total de respuestas: 16. b) Gráfico de frecuencia que señala los alimentos a base de amaranto comercializados por los establecimientos encuestados. El número al final de las barras indica la cantidad de menciones. Número total de respuestas: 16. c) Gráfico de frecuencia que señala los alimentos a base de trigo sarraceno comercializados por los establecimientos encuestados. El número al final de las barras indica la cantidad de menciones. Número total de respuestas: 15

En el marco de la encuesta, se les consultó a los comercios sobre el porcentaje aproximado de clientes que consumen amaranto, quinoa y trigo sarraceno. Se puede apreciar en la **Figura 31a** que el 57,9% de los establecimientos indicaron que entre un 0-25% de sus clientes consumen pseudocereales, un 36,8% consideró que entre 25-50% de los clientes los compran, mientras que solo un 5,3% indicó que entre el 50-75% de sus clientes consumen pseudocereales. Estos resultados hablan de un consumo relativamente bajo que se condice con los resultados de la encuesta de consumo realizada a habitantes de la provincia de Buenos Aires. Se consultó a los comercios también, el orden de preferencia que consideran que tienen los clientes por los diferentes pseudocereales. En la **Figura 31b** se observa que la mayoría de los establecimientos encuestados, cerca de un 90%, coincidió en que la quinoa es el pseudocereal más buscado, mientras que un 67% de ellos ponen al trigo sarraceno en segundo lugar, dejando al amaranto en último lugar. Al consultar sobre la percepción que tienen sobre los precios, un 44,4% de los comerciantes indicó que los pseudocereales tienen un precio razonable, mientras que una cifra similar expuso que les resultan costosos (**Figura 31c**). Esta percepción podría estar relacionada con el hecho de que generalmente los pseudocereales son comparados con otros granos tradicionales, como el arroz o el trigo, que suelen ser más accesibles. Por otro lado, podría tener incidencia el hecho de que, al ser cultivos subexplotados, los canales de comercialización y los proveedores sean limitados, impactando estos factores sobre los precios en el mercado. De todos modos, la mayoría de los establecimientos encuestados dijo no tener impedimentos para conseguir amaranto, quinoa y trigo sarraceno en cualquier época del año, mientras que unos pocos expresaron no poder conseguirlos tan fácilmente antes de la época de cosecha, con énfasis sobre todo en el amaranto. Con respecto a las edades de los clientes que compran eventualmente estos pseudocereales, se evidencia en la **Figura 30d** que en su mayoría se trata de adultos jóvenes, lo cual se asemeja a los resultados de la encuesta de consumo, en la cual los resultados indicaban que los rangos etarios más jóvenes eran los consumidores más frecuentes. Finalmente, se consultó a los comercios si creen que sus clientes consumirían nuevos productos elaborados a partir de pseudocereales y cuáles serían, según su criterio, los más consumidos. Todos los comercios estuvieron de acuerdo en que los productos con pseudocereales serían bien recibidos por los clientes, destacando a las galletitas, las barras de cereal y los medallones vegetarianos como aquellos que podrían ser los más elegidos.

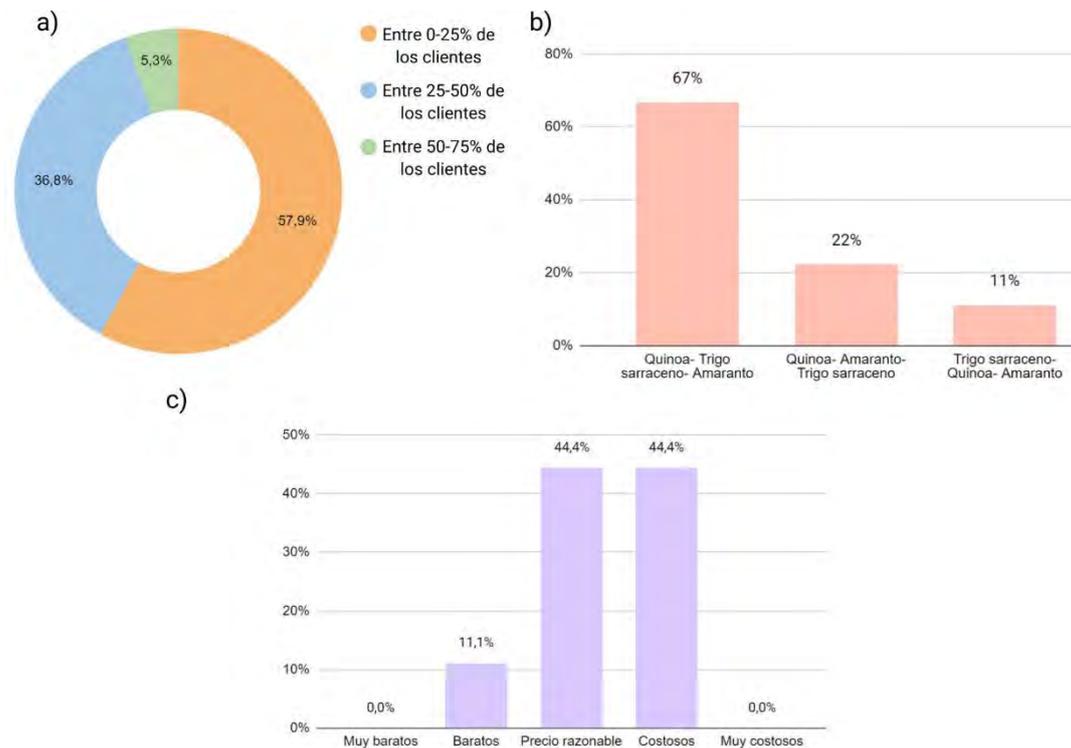


Figura 31. a) Gráfico del porcentaje de clientes que consumen amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno, según los establecimientos encuestados. b) Gráfico de preferencia de los pseudocereales por parte de los clientes, según los establecimientos encuestados. c) Distribución porcentual de la percepción de los precios de los pseudocereales por parte de los establecimientos encuestados.

C3.3 Elección de potenciales matrices alimentarias elaboradas a partir de pseudocereales para incorporar en el mercado bonaerense

Luego de analizar la información brindada por las encuestas, se pueden hacer algunas observaciones generales que servirán como guía para seleccionar potenciales matrices alimentarias elaboradas con pseudocereales, que podrían formar parte de la oferta en el mercado bonaerense. Por un lado, se pudo concluir que los rangos etarios más jóvenes son quienes mayormente consumen amaranto, quinoa y trigo sarraceno, tanto en cantidad como en frecuencia. Es por este motivo que la elección de las matrices alimentarias debería estar orientada a los gustos o necesidades de estas personas. Es interesante destacar que no solo los encuestados que ya consumen pseudocereales, sino también quienes aún no los consumen, muestran interés por incorporar productos elaborados con amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno en sus dietas. Es por este motivo que la selección de potenciales matrices alimentarias debería estar dirigida a ambos grupos. En este sentido, se debe poner el foco sobre los dos rangos etarios más jóvenes de la **Figura 32**, donde se evidencian las preferencias en cuanto a matrices alimentarias, tanto de los consumidores de pseudocereales (**Figura 32a**), como de quienes no los consumen (**Figura 32b**). En primera instancia, puede apreciarse que los alimentos más elegidos

por los encuestados son las tostadas, las galletitas, las pastas secas y los snacks, todos ellos con valores por encima del 40%. En el caso de los consumidores de pseudocereales de edades entre los 18 y 29 años, no se pueden ver diferencias

Importantes entre las preferencias por las distintas matrices alimentarias que incluía la encuesta, a excepción de las bebidas vegetales que fueron las menos elegidas. Mientras que los consumidores de pseudocereales de entre 30-44 años mostraron mayor preferencia por las pastas secas y los snacks, seguido por las tostadas y las galletitas. En cuanto a las personas que no consumen pseudocereales, los encuestados de entre 18 y 29 años mostraron preferencias por las tostadas y las barras de cereal, seguidas por galletitas y snacks. Por otro lado, la personas de entre 30 y 44 años indicaron que prefieren galletitas y tostadas, aunque también consumirían pastas secas y snacks.

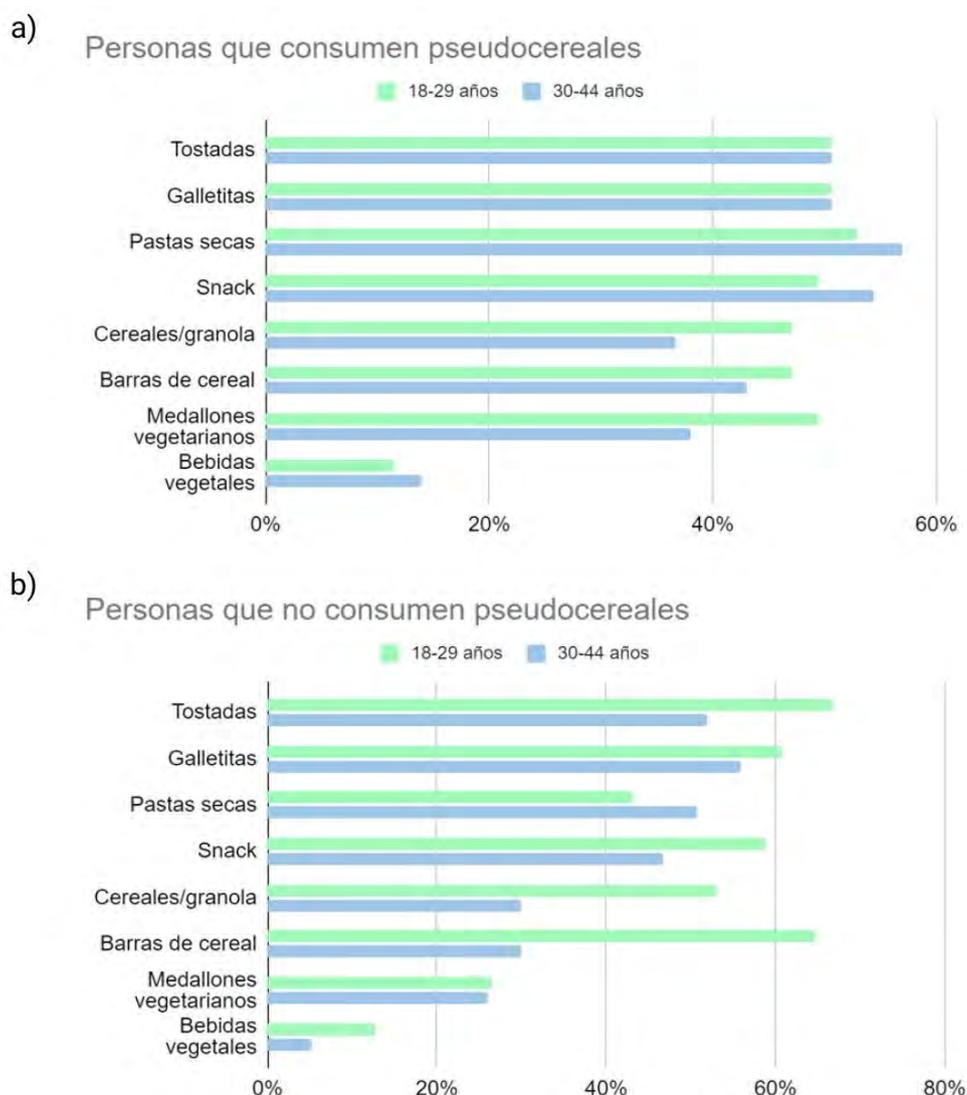


Figura 32. a) Porcentaje de consumidores de pseudocereales que seleccionó cada matriz alimentaria en base a sus preferencias, diferenciados por rango etario. b) Porcentaje de personas que no consumen pseudocereales, que seleccionó cada matriz alimentaria en base a sus preferencias, diferenciados por rango etario. En ambos casos los encuestados podían seleccionar más de una matriz alimentaria.

Al analizar el mercado actual argentino de pseudocereales nos encontramos con una creciente variedad de marcas que promueven el consumo de pseudocereales, con algunos alimentos innovadores y formatos muy interesantes. El amaranto se encuentra presente en diversas matrices alimentarias tales como galletitas, barras de cereal y pastas, entre otras (**Figura 33**), pero en muchos casos este pseudocereal se encuentra como un componente minoritario entre los ingredientes. Por un lado, esto podría deberse a una falta de desarrollo en la producción de amaranto a nivel nacional, que podría crear cierta inestabilidad en cuanto a los precios y a la adquisición de los granos a lo largo del año, lo que obligaría a los productores de alimentos a no tomar riesgos. Por otro lado, la falta de difusión y conocimiento por parte de los clientes, hace que este pseudocereal no sea de los más buscados, limitando su industrialización a gran escala. También deben tenerse en consideración las dificultades tecnológicas que podrían surgir a la hora de querer incorporar estos granos en las diferentes matrices. En cuanto a los alimentos elaborados con quinoa, se puede observar en la **Figura 34** que son muy variados, e incluyen galletitas, pastas secas, granolas, barras de cereal y cereales de desayuno, entre otros. Es interesante destacar que es un poco más habitual que la quinoa se encuentre entre los ingredientes mayoritarios de varios de los alimentos formulados con este pseudocereal. Además, la oferta de alimentos que contienen quinoa parece ser más extensa, y más marcas deciden incorporarla en sus productos. Esta decisión podría estar relacionada al hecho de que el consumo de quinoa se encuentre un poco más afianzado en la población. Además, al ser el pseudocereal más cultivado en nuestro país, es probable que sea más estable en el mercado, tanto en aspectos económicos como en la posibilidad de que no haya escasez de granos a lo largo del año.



Figura 33. Productos que contienen amaranto y se comercializan en el mercado argentino.



Figura 34. Productos que contienen quinoa y se comercializan en el mercado argentino.

En relación a los alimentos presentes en el mercado argentino, elaborados con trigo sarraceno, se encuentra poca variedad de productos y de marcas que incluyan este pseudocereal (Figura 35), aunque sí se encuentran varias marcas que comercializan harinas y semillas. También es habitual encontrarlo en premezclas para panificados sin TACC. Es interesante destacar que algunas marcas argentinas como Semillas Gauchas y Olienka tienen su propia producción de trigo sarraceno. De esta manera, formulan productos utilizando el trigo sarraceno como materia prima fundamental, con menor riesgo de sufrir las alteraciones propias del mercado de pseudocereales argentino.



Figura 35. Productos que contienen trigo sarraceno y se comercializan en el mercado argentino.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado, se podría pensar en proponer la elaboración de una matriz alimentaria que incluya a los pseudocereales, la cual sea del agrado de los potenciales consumidores, y aporte una cantidad al menos significativa de fibra alimentaria. Una propuesta interesante podría ser la de los snacks, los cuales fueron uno de los alimentos más elegidos tanto por los consumidores de pseudocereales, como por los no consumidores, en los dos rangos etarios más jóvenes. A su vez, en función de la información recabada, no se encontraron snacks fabricados con pseudocereales en el mercado argentino, al menos en los establecimientos y páginas web consultados para el análisis. La producción de este tipo de alimentos aportaría a una mayor variedad de productos en el mercado de pseudocereales, y también brindaría la posibilidad a las personas de consumir una alternativa más saludable comparada con los snacks tradicionales. En cuanto al formato, los snacks podrían tratarse tanto de productos de extrusión, como de pequeñas galletas saladas, dependiendo de las características organolépticas y el aporte de fibra por porción que podría alcanzarse en cada caso. La **Figura 36** muestra ejemplos de snacks saludables elaborados con pseudocereales que aún no se comercializan en Argentina, pero sí se encuentran en el mercado europeo. Dando la pauta de que tecnológicamente es posible utilizar pseudocereales como ingrediente principal en este tipo de alimentos. Según los datos informados en los rótulos y páginas web, la fibra dietaria en este tipo de

productos se encuentra entre los 3,5 y 10 g/100 g de alimento, mientras que el porcentaje de pseudocereales en los mismos representa entre un 70 y un 100% del total.

De todas maneras, no debe perderse de vista que los snacks son productos de consumo ocasional y los consumidores no los buscarían como primera opción para aportar fibra a su dieta. Además, tampoco sería el objetivo de estos alimentos el aportar la totalidad del valor de ingesta diaria recomendada por día de fibra dietaria, ya que se aconseja que el consumo sea de unos 25 g/día en adultos, lo cual es un valor alto y, por lo tanto, debe cubrirse con todos los alimentos consumidos en el día. En este sentido, lo que se buscaría con el desarrollo de snacks saludables a partir de pseudocereales, es elaborar productos integrales, novedosos, con un aporte de fibra mayor que los snacks tradicionales y que sean del agrado de los consumidores. Además, por el formato y packaging en bolsitas de este tipo de productos, sería una opción fácil de comer y transportar, convirtiéndose en una alternativa interesante para consumir también fuera de casa. Por otro lado, el ofrecer a los consumidores productos con los que ya estén familiarizados, como son los snacks, podría favorecer el acercamiento y conocimiento de estos pseudocereales, sobre todo de las personas que no los consumen, de manera que estos granos puedan convertirse con el paso del tiempo, en alimentos habituales en la dieta de los argentinos.



Figura 36. Productos tipo snack que contienen pseudocereales y se comercializan en el mercado europeo.

The background of the page is a white canvas decorated with four large, abstract watercolor splashes in various shades of green and teal. The splashes are located in the top-left, top-right, bottom-left, and bottom-right corners, framing the central text. The colors range from light, airy greens to deeper, more saturated teal and forest green tones, with some darker spots and gradients within the larger shapes.

Conclusiones

C.1 Conclusiones

El amaranto, la quinoa y el trigo sarraceno son cultivos subexplotados, no obstante, tanto su cultivo como su uso se encuentran en crecimiento en nuestro país. Estos pseudocereales destacan por sus características nutricionales, siendo ricos en proteínas de alto valor biológico, minerales y fibra dietaria. En particular, la fibra dietaria en los granos integrales se encuentra entre un 10-15%, y en todos los casos predomina la fracción insoluble. Entre los polisacáridos que integran la fibra dietaria se destacan los polisacáridos pécticos, algunas hemicelulosas como los xiloglucanos, arabinoxilanos y arabinogalactanos, entre otros, además de la celulosa y la lignina, las cuales se concentran principalmente en las cáscaras. La fibra dietaria desempeña un rol fundamental en el organismo. Existe evidencia que sugiere que estos compuestos pueden modificar la abundancia, la diversidad y el metabolismo de la microbiota intestinal, ayudando a mantenerla en un estado de equilibrio saludable, conocido como eubiosis. La microbiota intestinal interviene en múltiples procesos biológicos y bioquímicos del huésped, que van desde la regulación de la síntesis de lípidos y los niveles de glucosa en sangre y la promoción de una adecuada función inmunológica, hasta la modulación del SNC a través del eje microbiota-intestino-cerebro, entre otras funciones. El estudio y empleo de los prebióticos lleva años de desarrollo y es por este motivo que en la actualidad se realizan numerosos estudios que ponen énfasis en la relevancia de la microbiota humana y en la capacidad de algunos componentes presentes en los alimentos, tales como ciertos carbohidratos no digeribles, de modularla de manera positiva. Sin embargo, luego de la exhaustiva búsqueda bibliográfica realizada en el presente trabajo, podemos afirmar que la información disponible en la actualidad sigue siendo bastante escasa en lo que respecta a los efectos moduladores de la microbiota humana por parte de la fibra dietaria presente en pseudocereales como el amaranto, la quinoa y el trigo sarraceno. No obstante, existen estudios *in vitro* e *in vivo* en los cuales pudo ponerse a prueba el efecto modulador de la fibra dietaria de estos pseudocereales, así como su potencial para aumentar la producción de AGCC, obteniendo resultados muy prometedores. En todos los trabajos analizados se observó un aumento significativo de especies benéficas, acompañado de una disminución de especies potencialmente patógenas y de un aumento en la producción de AGCC, lo cual pone en evidencia el potencial efecto prebiótico que tendría la fibra dietaria del amaranto, la quinoa y el trigo sarraceno. A través de la información reunida se deduce la necesidad de ahondar acerca de los potenciales efectos prebióticos de la fibra de los pseudocereales, para lograr finalmente identificar aquellos componentes funcionales contenidos en estos granos.

Por otra parte, a través de las encuestas realizadas a fin de analizar el mercado de pseudocereales en Argentina, se obtuvieron datos que permiten alcanzar una visión integral sobre la oferta y la demanda de estos granos y los productos elaborados con ellos. La información reunida indicó que los adultos

jóvenes son quienes más consumen pseudocereales en nuestro país. Además, si bien más del 50% de la población general expresó que no consume amaranto, quinoa y/o trigo sarraceno, una gran mayoría mostró interés en incorporarlos a su dieta. Es por este motivo que la elaboración de nuevos alimentos formulados con pseudocereales podría favorecer la inclusión de estos granos como parte de la dieta habitual de las personas. Por lo tanto, creemos que la elaboración de un snack saludable podría aportar un aire novedoso al mercado argentino de pseudocereales, ya que al menos a través de la información reunida, no se encontraron en el mercado argentino productos similares. Finalmente, se puede concluir que es necesaria una mayor divulgación y publicidad en cuanto a los granos de amaranto, quinoa y trigo sarraceno, y sus beneficios nutricionales, así como el desarrollo de proyectos que promuevan su cultivo de forma sostenida en el país.

C.2 Aprendizajes y herramientas

El trabajo final ha sido una instancia formativa que abordó algunos aspectos relacionados con la carrera y me ha brindado herramientas que resultarán útiles en mi vida profesional. Entre ellas puedo mencionar la capacidad de búsqueda bibliográfica de manera criteriosa a través de diferentes plataformas, el análisis y la discusión de resultados propios y de aquellos obtenidos por otros autores, la elaboración de conclusiones que se desprendan de la información reunida previamente, la capacidad de forjar una dinámica de trabajo fluida exclusivamente de manera virtual junto con mi directora.

ANEXO 1. Nomenclatura actual de algunos microorganismos del género *Lactobacillus*.

Nomenclatura anterior	Nomenclatura actual
<i>Lactobacillus paracasei</i>	<i>Lacticaseibacillus paracasei</i> subsp. <i>paracasei</i>
<i>Lactobacillus rhamnosus</i>	<i>Lacticaseibacillus rhamnosus</i>
<i>Lactobacillus casei</i>	<i>Lacticaseibacillus casei</i>
<i>Lactobacillus reuteri</i>	<i>Limosilactobacillus reuteri</i>
<i>Lactobacillus plantarum</i>	<i>Lactiplantibacillus plantarum</i>
<i>Lactobacillus bulgaricus</i>	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>
<i>Lactobacillus lactis</i>	<i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>lactis</i>
<i>Lactobacillus brevis</i>	<i>Levilactobacillus brevis</i>
<i>Lactobacillus salivarius</i>	<i>Ligilactobacillus salivarius</i>
<i>Lactobacillus fermentum</i>	<i>Limosilactobacillus fermentum</i>

Bibliografía



Bibliografía

- Accame, M. E. C., & Ortega, T. (2019). Trigo sarraceno. *Panorama actual del medicamento*, 43(420), 133-136.
- Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT). Capítulo V. Normas para la rotulación y publicidad de los alimentos. https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/anmat_capitulo_v_rotulacion_actualiz_2021-08.pdf
- Aguilera-Gutiérrez, Y. (2009). Harinas de leguminosas deshidratadas: caracterización nutricional y valoración de sus propiedades tecnofuncionales. Tesis Doctoral. Departamento de Química Agrícola. Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma de Madrid.
- Ahmad, A., Anjum, F. M., Zahoor, T., Nawaz, H., & Dilshad, S. M. R. (2012). Beta glucan: a valuable functional ingredient in foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(3), 201-212.
- Akbari, E., Asemi, Z., Daneshvar Kakhaki, R., Bahmani, F., Kouchaki, E., Tamtaji, O. R., ... & Salami, M. (2016). Effect of probiotic supplementation on cognitive function and metabolic status in Alzheimer's disease: a randomized, double-blind and controlled trial. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8, 256.
- Almeida-Alvarado, S. L., Aguilar-López, T., & Hervert-Hernández, D. (2014). La fibra y sus beneficios a la salud. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 27, 73-76.
- Álvarez, J., Real, J. M. F., Guarner, F., Gueimonde, M., Rodríguez, J. M., de Pípaon, M. S., & Sanz, Y. (2021). Microbiota intestinal y salud. *Gastroenterología y Hepatología*, 44(7), 519-535.
- Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 21(2), 106-113.
- Andersson, A. A., Andersson, R., Piironen, V., Lampi, A. M., Nyström, L., Boros, D., ... & Åman, P. (2013). Contents of dietary fibre components and their relation to associated bioactive components in whole grain wheat samples from the Healthgrain diversity screen. *Food Chemistry*, 136(3-4), 1243-1248.
- Ayala Soto, F. E., & Serna Saldívar, S. O. (2020). Architecture, Structure and Chemistry of Plant Cell Walls and Their Constituents. In *Science and Technology of Fibers in Food Systems* (pp. 3-14). Springer, Cham.
- Barro, A. M., Sáez, A. C., Mateos Lardiés, A. M., Sampedro, A. R., Sánchez, A. M., & Suárez Fernandez, J. E. (2018) Guía de actuación y documento de consenso sobre el manejo de preparados con probióticos y/o prebióticos en la farmacia comunitaria SEFAC y SEPyP.
- Békés, F., Schoenlechner, R., & Tömösközi, S. (2017). Ancient wheats and pseudocereals for possible use in cereal-grain dietary intolerances. In *Cereal Grains* (pp. 353-389). Woodhead Publishing.
- Bekkering, C. S., & Tian, L. (2019). Thinking outside of the cereal box: breeding underutilized (pseudo) cereals for improved human nutrition. *Frontiers in Genetics*, 10, 1289.
- Bemiller, J. N. (2020). Resistant starch. *Science and Technology of Fibers in Food Systems*, 153-183.
- Bengoa, A. A., Dardis, C., Gagliarini, N., Garrote, G. L., & Abraham, A. G. (2020). Exopolysaccharides from *Lactobacillus paracasei* isolated from kefir as potential bioactive compounds for microbiota modulation. *Frontiers in Microbiology*, 11, 583254.
- Birkett, A. M., & Francis, C. C. (2010). Short-Chain Fructo-Oligosaccharide. A Low Molecular Weight Fructan. *Handbook of prebiotics and probiotics ingredients*. pp. 13-42. Health benefits and food applications (Eds SS Cho & ET Finocchiaro). CRC Press, USA.
- Boerjan, W., Ralph, J., & Baucher, M. (2003). Lignin biosynthesis. *Annual review of plant biology*, 54(1), 519-546.

- Bohórquez Avelino L. M., Burbano Emen, C. L. y Cucalón Gaibor, D. (2019). Exportación de amaranto en grano hacia Madrid -España de la de Carla Novoa Moreno (gramolino). Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana, Issue 252.
- Brown, L., Rosner, B., Willett, W. W., & Sacks, F. M. (1999). Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 69(1), 30-42.
- Brummer, Y., Kaviani, M., & Tosh, S. M. (2015). Structural and functional characteristics of dietary fibre in beans, lentils, peas and chickpeas. *Food Research International*, 67, 117-125.
- Bunzel, M., Ralph, J., & Steinhart, H. (2005). Association of non-starch polysaccharides and ferulic acid in grain amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) dietary fiber. *Molecular Nutrition & Food Research*, 49(6), 551-559.
- Bustamante, P., Mayorga, L., Ramírez, H., Martínez, P., Barranco, E., & Azaola, A. (2006). Evaluación microbiológica de compuestos con actividad prebiótica. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37(2), 5-10.
- Cao, Y., Zou, L., Li, W., Song, Y., Zhao, G., & Hu, Y. (2020). Dietary quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) polysaccharides ameliorate high-fat diet-induced hyperlipidemia and modulate gut microbiota. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163, 55-65.
- Castañeda Guillot, C. D. (2017). Microbiota intestinal, probióticos y prebióticos. *Enfermería Investiga: Investigación, Vinculación, Docencia y Gestión*, 2(4), 156-160.
- Castellanos, L., Murillo, K., Ortega, D., Velásquez, I., & Ramírez-Navas, J. S. (2017). Empleo de inulina en matrices alimentarias. *La Alimentación Latinoamericana* N° 325, 62-68.
- Capriles, V. D., Coelho, K. D., Guerra-Matias, A. C., & Arêas, J. A. G. (2008). Effects of processing methods on amaranth starch digestibility and predicted glycemic index. *Journal of Food Science*, 73(7), 160-164.
- Chanchahuaña Alva, C. M. (2018). Efectos saludables de los pseudocereales. Tesis de grado. UCM-Facultad de Medicina.
- Chau, C. F., Chen, C. H., & Lee, M. H. (2004). Comparison of the characteristics, functional properties, and in vitro hypoglycemic effects of various carrot insoluble fiber-rich fractions. *LWT-Food Science and technology*, 37(2), 155-160.
- Chesson, A. (2006). Chapter 18, Dietary Fiber. *Food Polysaccharides and Their Applications* pp. 629-712. Taylor & Francis Group.
- Cho, S. S., & Finocchiaro, E. T. (2010). Natural resistant starches as prebiotics and synbiotics. pp. 124-138. *Handbook of prebiotics and probiotics ingredients: health benefits and food applications*, CRC Press, USA.
- Chuncho, G., Chuncho, C., & Aguirre, Z. H. (2019). Anatomía y morfología vegetal. University of Nebraska de Loja: Loja, Ecuador.
- Coffey, D. G., Bell, D. A., & Henderson, A. (2006). Cellulose and cellulose derivatives. *Food Polysaccharides and their Applications*, 2, 146-179.
- Colin-Henrion, M., Mehinagic, E., Renard, C. M., Richomme, P., & Jourjon, F. (2009). From apple to applesauce: Processing effects on dietary fibres and cell wall polysaccharides. *Food Chemistry*, 117(2), 254-260.
- Collar, C., & Angioloni, A. (2014). Pseudocereals and teff in complex breadmaking matrices: Impact on lipid dynamics. *Journal of Cereal Science*, 59(2), 145-154.
- Cordeiro, L. M., de Fátima Reinhardt, V., Baggio, C. H., de Paula Werner, M. F., Burci, L. M., Sasaki, G. L., & Iacomini, M. (2012). Arabinan and arabinan-rich pectic polysaccharides from quinoa (*Chenopodium quinoa*) seeds: Structure and gastroprotective activity. *Food Chemistry*, 130(4), 937-944.

- Covarrubias Esquer, J. (2020). Manual de probióticos. Ergon.
- Da Silva, J. L., & Rao, M. A. (2006). 11 pectins: structure, functionality, and uses. *Food Polysaccharides and their Applications*, 353.
- Damodaran, S., Parkin, K. L., & Fennema, O. R. (Eds.). (2007). *Fennema's Food Chemistry*. CRC press.
- Den Besten, G., Van Eunen, K., Groen, A. K., Venema, K., Reijngoud, D. J., & Bakker, B. M. (2013). The role of short-chain fatty acids in the interplay between diet, gut microbiota, and host energy metabolism. *Journal of Lipid Research*, 54(9), 2325-2340.
- Difabio, A. D., & Parraga, G. (2017). Origin, production and utilization of pseudocereals. In *Book Pseudocereals: chemistry and technology*, pp. 1-27. Wiley Blackwell. Eds. Haros and Schoenlechner.
- Dionisi, C. P. Cadena agroalimentaria de trigo sarraceno. Tesis Doctoral. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.
- Dongowski, G., Lorenz, A., & Proll, J. (2002). The degree of methylation influences the degradation of pectin in the intestinal tract of rats and in vitro. *The Journal of Nutrition*, 132(7), 1935-1944.
- Dziejczak, K., Górecka, D. G., Kucharska, M., & Przybylska, B. (2012). Influence of technological process during buckwheat groats production on dietary fibre content and sorption of bile acids. *Food Research International*, 47(2), 279-283.
- Ende, W. V. D. (2013). Multifunctional fructans and raffinose family oligosaccharides. *Frontiers in Plant Science*, 4, 247.
- Escudero Álvarez, E., & González Sánchez, P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*, 21, 61-72.
- Fantasía, M. R. (2009). Trigo sarraceno: grado de aceptabilidad y frecuencia de consumo. Tesis de grado. Licenciatura en Nutrición. Universidad de FASTA.
- Franck, A. (2006). Inulin food polysaccharides and their applications. Ed. Stephen A.
- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M. J., Sánchez-Zapata, E., & Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*, 43(4), 931-942.
- Gamel, T. H., Linssen, J. P., Mesallam, A. S., Damir, A. A., & Shekib, L. A. (2006). Effect of seed treatments on the chemical composition of two amaranth species: oil, sugars, fibres, minerals and vitamins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(1), 82-89.
- Gheys, F., Blankenship, S. M., Young, E., & McFeeters, R. (1997). Dietary fibre content of thirteen apple cultivars. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 75(3), 333-340.
- Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., ... & Reid, G. (2017). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature reviews Gastroenterology & Hepatology*, 14(8), 491-502.
- Gidley, M. J., & Reid, J. G. (2006). Galactomannans and other cell wall storage polysaccharides in seeds. *Food Science and Technology*, pp. 155-155. New York-Marcel Dekker.
- Glorio, P., Repo-Carrasco, R., Velezmore, C., Anticona, S., Huaranga, R., Martínez, P., ... & Peña, J. C. (2008). Fibra dietaria en variedades peruanas de frutas, tubérculos, cereales y leguminosas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 74(1), 46-56.
- Gómez-Eguílaz, M., Ramón-Trapero, J. L., Pérez-Martínez, L., & Blanco, J. R. (2019). El eje microbiota-intestino-cerebro y sus grandes proyecciones. *Revista de Neurología*, 68(3), 111-7.
- Gómez-Eguílaz, M., Ramón-Trapero, J. L., Pérez-Martínez, L., & Blanco, J. R. (2018). The beneficial effect of probiotics as a supplementary treatment in drug-resistant epilepsy: a pilot study. *Beneficial Microbes*, 9(6), 875-881.

- González G. (2014). Principales limitaciones y restricciones de la comercialización de los productos de interés para el área del Sistema de Riego en Santa María, Catamarca. 1ra Ed. Argentina: FAO, Desarrollo institucional para la inversión.
- Gregori Navarro, M. (2020) Potenciales beneficios de los probióticos en el tratamiento del estrés y trastornos de ansiedad y depresión: Revisión narrativa. Tesis de Grado. Universidad Miguel Hernández.
- Guardiola-Márquez, C. E., Santana-Gálvez, J., & Jacobo-Velázquez, D. A. (2020). Association of dietary fiber to food components. In *Science and Technology of Fibers in Food Systems* (pp. 45-70). Springer, Cham.
- Guarner, F., Sanders, M. E., Eliakim, R., Fedorak, R., Gangl, A., & Garisch, J. (2017). Guías mundiales de la Organización Mundial de la Gastroenterología. Probióticos y prebióticos. *World Gastroenterology Organisation (WGO)*.
- Gullón, B., Gullón, P., Tavaría, F. K., & Yáñez, R. (2016). Assessment of the prebiotic effect of quinoa and amaranth in the human intestinal ecosystem. *Food & Function*, 7(9), 3782-3788.
- Gullón, P., Gullón, B., González-Munñoz, M. J., Alonso, J. L., & Parajó, J. C. (2014). Production and bioactivity of oligosaccharides from biomass hemicelluloses. *Food oligosaccharides: Production, Analysis and Bioactivity*, 88-106.
- Gupta, M., Abu-Ghannam, N., & Gallagher, E. (2010). Barley for Brewing: Characteristic Changes during Malting, Brewing and Applications of its By-Products. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(3), 318–328.
- Guzmán-Maldonado, S. H., & Paredes-Lopez, O. (1998). Functional Products of Plants Indigenous to Latin America: Amaranth, Quinoa. *Functional Foods: Biochemical and Processing Aspects*, 1, 293.
- Habuš, M., Mykolenko, S., Iveković, S., Pastor, K., Kojić, J., Drakula, S., ... & Novotni, D. (2022). Bioprocessing of wheat and amaranth bran for the reduction of fructan levels and application in 3D-printed snacks. *Foods*, 11(11), 1649.
- Hallström, E., Sestili, F., Lafandra, D., Björck, I., & Östman, E. (2011). A novel wheat variety with elevated content of amylose increases resistant starch formation and may beneficially influence glycaemia in healthy subjects. *Food & Nutrition Research*, 55(1), 7074.
- Haros, C. M., & Schoenlechner, R. (Eds.). (2017). *Pseudocereals: chemistry and technology*. John Wiley & Sons.
- Herranz, J., Vidal-Valverde, C., & Rojas-Hidalgo, E. (1981). Cellulose, hemicellulose and lignin content of raw and cooked Spanish vegetables. *Journal of Food Science*, 46(6), 1927-1933.
- Hill, C., Guarner, F., Reid, G., Gibson, G. R., Merenstein, D. J., Pot, B., ... & Sanders, M. E. (2014). Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics consensus statement on the scope and appropriate use of the term probiotic. *Nature reviews Gastroenterology & Hepatology*.
- Houben, K., Jolie, R. P., Fraeye, I., Van Loey, A. M., & Hendrickx, M. E. (2011). Comparative study of the cell wall composition of broccoli, carrot, and tomato: Structural characterization of the extractable pectins and hemicelluloses. *Carbohydrate Research*, 346(9), 1105-1111.
- Ispiryan, L., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2020). Characterization of the FODMAP-profile in cereal-product ingredients. *Journal of Cereal Science*, 92, 102916.
- Izydorczyk, M. S., & Head, D. (2010). Characterization and potential uses of functional buckwheat fractions obtained by roller milling of new Canadian buckwheat genotypes. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology*, 4, 71-81.

- Izydorczyk, M. S., McMillan, T., Bazin, S., Kletke, J., Dushnicky, L., & Dexter, J. (2014). Canadian buckwheat: A unique, useful and under-utilized crop. *Canadian Journal of Plant Science*, 94(3), 509-524.
- Jain, S., Yadav M., Menon S., Yadav H. & Marotta F. (2010) Anticarcinogenic effect of probiotics prebiotics and synbiotics. *Handbook of prebiotics and probiotics ingredients: Health Benefits and Food Applications*. CRC Press, USA, (273-292)
- Jana, U. K., Kango, N., & Pletschke, B. (2021). Hemicellulose-derived oligosaccharides: Emerging prebiotics in disease alleviation. *Frontiers in Nutrition*, 8, 670817.
- Janssen, F., Pauly, A., Rombouts, I., Jansens, K. J., Deleu, L. J., & Delcour, J. A. (2017). Proteins of amaranth (*Amaranthus spp.*), buckwheat (*Fagopyrum spp.*), and quinoa (*Chenopodium spp.*): A food science and technology perspective. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(1), 39-58.
- Jukanti, A. K., Gaur, P. M., Gowda, C. L. L., & Chibbar, R. N. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): a review. *British Journal of Nutrition*, 108(S1), S11-S26.
- Kanwal, F., Ren, D., Kanwal, W., Ding, M., Su, J., & Shang, X. (2023). The potential role of nondigestible Raffinose family oligosaccharides as prebiotics. *Glycobiology*, 33(4), 274-288.
- Kaur, I. P., Kuhad, A., Garg, A., & Chopra, K. (2009). Probiotics: Potential pharmaceutical Applications. *Handbook of Prebiotics and Probiotics Ingredients: Health Benefits and Food Applications*, 381.
- Kraic, D. M. J. (2006). Natural sources of health-promoting starch. *Journal of Food and Nutrition Research*, 45(2), 69-76.
- Kvakova, M., Kamlarova, A., Stofilova, J., Benetinova, V., & Bertkova, I. (2022). Probiotics and postbiotics in colorectal cancer: Prevention and complementary therapy. *World Journal of Gastroenterology*, 28(27), 3370.
- Lamothe, L. M., Srichuwong, S., Reuhs, B. L., & Hamaker, B. R. (2015). Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) and amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) provide dietary fibres high in pectic substances and xyloglucans. *Food Chemistry*, 167, 490-496.
- Lineback, D. R. (1999). The chemistry of complex carbohydrates in food. *Food Science And Technology*, pp. 115-130. New York-Marcel Dekker.
- Linsberger-Martin, G., Lukasch, B., & Berghofer, E. (2012). Effects of high hydrostatic pressure on the RS content of amaranth, quinoa and wheat starch. *Starch-Stärke*, 64(2), 157-165.
- Holtzapple, M. T. (2003). Hemicelluloses. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition (Second Edition)* pp. 3060-3071. Academic Press. Eds. Benjamin Caballero.
- Madrigal, L., & Sangronis, E. (2007). La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(4).
- Martínez-Villaluenga, Peñas, E., Hernández-Ledesma, B. (2020). Pseudocereal grains: Nutritional value, health benefits and current applications for the development of gluten-free foods. *Food and Chemical Toxicology*, 137, 111178.
- Massiot, P., Rouau, X., & Thibault, J. F. (1988). Characterization of the extractable pectins and hemicelluloses of the cell wall of carrot. *Carbohydrate Research*, 172(2), 229-242.
- Matos Chamorro, R. A., & Chambilla-Mamani, E. (2010). Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, Vol. 1(1).
- Mendis, M., & Simsek, S. (2014). Arabinoxylans and human health. *Food Hydrocolloids*, 42, 239-243.

- Meyhuay, M., & Mejia, D. (2013). Quinoa: Operaciones de poscosecha. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Santiago de Chile: Instituto de desarrollo Agroindustrial (INDDA) 36p.
- Ministerio de Producción y Trabajo de Argentina. Secretaría de Agroindustria. Nutrición y Educación alimentaria. Ficha N° 33 Fibra Alimentaria.
http://www.alimentosargentinos.gob.ar/HomeAlimentos/Nutricion/fichaspdf/Ficha_33_fibraAlimentaria.pdf
- Ministerio de Salud de la Nación. ENNyS. Encuesta Nacional de Nutrición y Salud. Documento de Resultados 2007. <https://cesni-biblioteca.org/archivos/ennys.pdf>
- Mir, N. A., Riar, C. S., & Singh, S. (2018). Nutritional constituents of pseudo cereals and their potential use in food systems: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 75, 170-180.
- Mohnen, D. (2008). Pectin structure and biosynthesis. *Current Opinion in Plant Biology*, 11(3), 266-277.
- Morales de la Peña, M., Odriozola-Serrano, I., Oms-Oliu, G., & Martín-Belloso, O. (2020). Dietary fiber in fruits and vegetables. In *Book Science and Technology of Fibers in Food Systems* (pp. 123-152). Springer. Ed. Cham.
- Moronta, J., Smaldini, P. L., Docena, G. H., & Añón, M. C. (2016). Peptides of amaranth were targeted as containing sequences with potential anti-inflammatory properties. *Journal of Functional Foods*, 21, 463-473.
- Muir, J. G., Rose, R., Rosella, O., Liels, K., Barrett, J. S., Shepherd, S. J., & Gibson, P. R. (2009). Measurement of short-chain carbohydrates in common Australian vegetables and fruits by high-performance liquid chromatography (HPLC). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(2), 554-565.
- Mulero Cánovas, J., Zafrilla Rentero, P., Martínez-Cachá Martínez, A., Leal Hernández, M., & Abellán Alemán, J. (2011). Péptidos bioactivos. *Clínica e Investigación en Arteriosclerosis*, 23(5), 219-227.
- Nauta A., Bakker-Zierikzee A.M., & Schoterman M.H.C. (2010) Galacto-oligosaccharides. pp. 75-94. *Handbook of Prebiotics and Probiotics Ingredients: Health Benefits and Food Applications*. CRC Press, USA.
- Olagnero, G., Abad, A., Bendersky, S., Genevois, C., Granzella, L., & Montonati, M. (2007). Alimentos funcionales: fibra, prebióticos, probióticos y simbióticos. *Diaeta*, 25(121), 20-33.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). FAOSTAT quinoa. <https://www.fao.org/faostat/es/#search/quinoa>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). FAOSTAT trigo sarraceno. <https://www.fao.org/faostat/es/#search/trigo%20sarraceno>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Cultivos tradicionales. <https://www.fao.org/traditional-crops/buckwheat/es/>
- Orsini, M. C., Nardo, A., Pavlovic, M., Rogniaux, H., Añón, M. C., & Tironi, V. A. (2016). Identification and characterization of antioxidant peptides obtained by gastrointestinal digestion of amaranth proteins. *Food Chemistry*, 197, 1160-1167.
- Ottman, N., Smidt, H., De Vos, W. M., & Belzer, C. (2012). The function of our microbiota: who is out there and what do they do?. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 104.
- Paesani, C. (2019) Contenido y estructura de arabinosanos de harinas de grano entero de diferentes genotipos de trigo: evaluación de su capacidad prebiotica. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Córdoba.

- Paineau, D., Respondek, F., & Bouhnik, Y. (2010). Inulin and oligosaccharides: a special focus on human studies. pp. 43-74. Handbook of Prebiotics and Probiotics Ingredients: Health Benefits and Food Applications. CRC Press, USA.
- Pirzadah, T. B., & Malik, B. (2020). Pseudocereals as super foods of 21st century: Recent technological interventions. Journal of Agriculture and Food Research, 2, 100052.
- Popa, V. (2011). Polysaccharides in medicinal and pharmaceutical applications. Smithers Rapra.
- Préstamo, G., Pedrazuela, A., Peñas, E., Lasunción, M. A., & Arroyo, G. J. N. R. (2003). Role of buckwheat diet on rats as prebiotic and healthy food. Nutrition Research, 23(6), 803-814.
- Prieto, J. M. (2010). Estudio del proceso de expansión de semillas de amaranto mediante espectros dieléctricos. Máster en Ciencia e Ingeniería de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia.
- Quiroga-Ledezma, C. C. (2008). Los almidones resistentes y la salud. Revista Investigación & Desarrollo, 1(8).
- Quirós-Sauceda, A. E., Palafox-Carlos, H., Sáyago-Ayerdi, S. G., Ayala-Zavala, J. F., Bello-Perez, L. A., Alvarez-Parrilla, E., ... & González-Aguilar, G. A. (2014). Dietary fiber and phenolic compounds as functional ingredients: interaction and possible effect after ingestion. Food & Function, 5(6), 1063-1072.
- Raygan, F., Rezavandi, Z., Bahmani, F., Ostadmohammadi, V., Mansournia, M. A., Tajabadi-Ebrahimi, M., ... & Asemi, Z. (2018). The effects of probiotic supplementation on metabolic status in type 2 diabetic patients with coronary heart disease. Diabetology & Metabolic Syndrome, 10, 1-7.
- Reguera, M., & Haros, C. M. (2017). Structure and composition of kernels. In Book Pseudocereals: Chemistry and technology (pp. 28-48). Wiley. Eds. Haros and Schonlechner.
- Ren, Y., Wu, S., Xia, Y., Huang, J., Ye, J., Xuan, Z., ... & Du, B. (2021). Probiotic-fermented black tartary buckwheat alleviates hyperlipidemia and gut microbiota dysbiosis in rats fed with a high-fat diet. Food & Function, 12(13), 6045-6057.
- Repo-Carrasco-Valencia, R. A. M., & Serna, L. A. (2011). Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) as a source of dietary fiber and other functional components. Food Science and Technology, 31, 225-230.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., & Arana, J. V. (2017). Carbohydrates of kernels. Pseudocereals: Chemistry and Technology, 49-70.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Hellström, J. K., Pihlava, J. M., & Mattila, P. H. (2010). Flavonoids and other phenolic compounds in Andean indigenous grains: Quinoa (*Chenopodium quinoa*), kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) and kiwicha (*Amaranthus caudatus*). Food Chemistry, 120(1), 128-133.
- Repo-Carrasco-Valencia, R., Peña, J., Kallio, H., & Salminen, S. (2009). Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). Journal of Cereal Science, 49(2), 219-224.
- Rezende, E. S. V., Lima, G. C., & Naves, M. M. V. (2021). Dietary fibers as beneficial microbiota modulators: A proposed classification by prebiotic categories. Nutrition, 89, 111217.
- Rico Vidal, H. (2019). El microbioma humano: Características y su influencia en el mantenimiento de la salud. Academia De Farmacia De La Comunitat Valenciana.
- Rojas W., Soto J.L., Pinto M., Jäger M., Padulosi (Eds). 2010. Granos Andinos. Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Bioersivity International, Roma, Italia.
- Rubén, D., Burin, D., Pereyra, E., & Heras, A. I. (2015). Quinoa, regalo ancestral: historia, contexto, tecnología, políticas. Ed. Fundación Nueva Gestión.
- Sabbione, A. C., Scilingo, A., & Añón, M. C. (2015). Potential antithrombotic activity detected in amaranth proteins and its hydrolysates. LWT-Food Science and Technology, 60(1), 171-177.

- Sacristán Oliveri, I. (2021). Influencias de la microbiota en el eje intestino-cerebro y el desarrollo de enfermedades. Tesis de Grado. Universidad de Valladolid.
- Sajilata, M. G., Singhal, R. S., & Kulkarni, P. R. (2006). Resistant starch—a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 5(1), 1-17.
- Salminen, S., Collado, M. C., Endo, A., Hill, C., Lebeer, S., Quigley, E. M., ... & Vinderola, G. (2021). The International Scientific Association of Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of postbiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 18(9), 649-667.
- Sánchez Almaraz, R., Martín Fuentes, M., Palma Milla, S., López Plaza, B., Bermejo López, L. M., & Gómez Candela, C. (2015). Indicaciones de diferentes tipos de fibra en distintas patologías. *Nutrición Hospitalaria*, 31(6), 2372-2383.
- Santana Artilles, F. (2016). La pared celular vegetal en la producción de biocombustibles. Tesis de grado. Universidad de Salamanca.
- Senés-Guerrero, C., Gradilla-Hernández, M. S., García-Gamboa, R., & García-Cayuela, T. (2020). Dietary fiber and gut microbiota. *Science and Technology of Fibers in Food Systems*, 277-298.
- Serna Saldívar, S. O., & Ayala Soto, F. E. (2020). Chemical composition and biosynthesis of dietary fiber components. In *Science and Technology of Fibers in Food Systems* (pp. 15-43). Springer, Cham.
- Serna Saldívar, S. O., & Sanchez Hernández, D. (2020). Dietary fiber in cereals, legumes, pseudocereals and other seeds. In *Science and Technology of Fibers in Food Systems* (pp. 87-122). Springer, Cham.
- Shepherd, S. J., Lomer, M. C., & Gibson, P. R. (2013). Short-chain carbohydrates and functional gastrointestinal disorders. *Official journal of the American College of Gastroenterology - ACG*, 108(5), 707-717.
- Singh, U. (1984). Dietary fiber and its constituents in desi and kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Nutrition Reports International*, 29(2), 419-426.
- Sisti, M. S., Scilingo, A., & Añón, M. C. (2019). Effect of the incorporation of amaranth (*Amaranthus mantegazzianus*) into fat-and cholesterol-rich diets for Wistar rats. *Journal of food science*, 84(11), 3075-3082.
- Siva, N., Thavarajah, P., Kumar, S., & Thavarajah, D. (2019). Variability in prebiotic carbohydrates in different market classes of chickpea, common bean, and lentil collected from the American local market. *Frontiers in Nutrition*, 6, 38.
- Spiller, G. A. (Ed.). (2001). *CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition*. CRC press.
- Steadman, K. J., Burgoon, M. S., Lewis, B. A., Edwardson, S. E., & Obendorf, R. L. (2001). Buckwheat seed milling fractions: description, macronutrient composition and dietary fibre. *Journal of Cereal Science*, 33(3), 271-278.
- Štěřbová, L., Bradová, J., Sedláček, T., Holasová, M., Fiedlerová, V., Dvořáček, V., & Smrčková, P. (2016). Influence of technological processing of wheat grain on starch digestibility and resistant starch content. *Starch-Stärke*, 68(7-8), 593-602.
- Stone, B. A. (2009). Chemistry of β -glucans. In *Chemistry, biochemistry, and biology of 1-3 beta glucans and related polysaccharides* (pp. 5-46). Academic press.
- Suárez, S., Aphalo, P., Rinaldi, G., Añón, M. C., & Quiroga, A. (2020). Effect of amaranth proteins on the RAS system. In vitro, in vivo and ex vivo assays. *Food Chemistry*, 308, 125601.
- Thursby, E., & Juge, N. (2017). Introduction to the human gut microbiota. *Biochemical Journal*, 474(11), 1823-1836.
- Torres, N., Avila-Nava, A., Medina-Vera, I., & Tovar, A. R. (2020). Dietary fiber and diabetes. In *Science and Technology of Fibers in Food Systems* (pp. 201-218). Springer, Cham.

- Valencia-Chamorro, S., Maldonado-Alvarado, P., & Sotomayor-Grijalva, C. (2017). Lipids of Kernels. In Book Pseudocereals: Chemistry and Technology, 119-139. John Wiley & Sons. Eds. Haros & Schoenlechner.
- Van den Abbeele, P., Gérard, P., Rabot, S., Bruneau, A., El Aidy, S., Derrien, M., & Possemiers, S. (2011). Arabinoxylans and inulin differentially modulate the mucosal and luminal gut microbiota and mucin-degradation in humanized rats. *Environmental Microbiology*, 13(10), 2667-2680.
- Ventimiglia, L. A., & Torrens Baudrix, L. (2018). Trigo Sarraceno o Alforfón, una alternativa más. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
- Vilcacundo, R., Martínez-Villaluenga, C., & Hernández-Ledesma, B. (2017). Release of dipeptidyl peptidase IV, α -amylase and α -glucosidase inhibitory peptides from quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) during *in vitro* simulated gastrointestinal digestion. *Journal of Functional Foods*, 35, 531-539.
- Villacrés, E., Cuadrado, L., & Falconí, F. (2013). Los granos andinos: Chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet), quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), amaranto (*Amaranthus caudatus* L.) y sangorache (*Amaranthus hybridus* L.) fuente de metabolitos secundarios y fibra dietética. Boletín Técnico Nro 165. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador
- Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(3), 271-278.
- Vitaglione, P., & Mennella, I. (2020). Dietary Fiber and Obesity. In *Science and Technology of Fibers in Food Systems* (pp. 187-199). Springer, Cham.
- Wefers, D., Flörchinger, R., & Bunzel, M. (2018). Detailed structural characterization of arabinans and galactans of 14 apple cultivars before and after cold storage. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1451.
- Wefers, D., Tyl, C. E., & Bunzel, M. (2015). Neutral pectin side chains of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) contain long, partially branched arabinans and short galactans, both with terminal arabinopyranoses. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(2), 707-715.
- Zeyneb, H., Pei, H., Cao, X., Wang, Y., Win, Y., & Gong, L. (2021). In vitro study of the effect of quinoa and quinoa polysaccharides on human gut microbiota. *Food Science & Nutrition*, 9(10), 5735-5745.
- Zhang, D., Wang, L., Tan, B., & Zhang, W. (2020). Dietary fibre extracted from different types of whole grains and beans: a comparative study. *International Journal of Food Science & Technology*, 55(5), 2188-2196.
- Zhang, Y., Su, D., He, J., Dai, Z., Asad, R., Ou, S., & Zeng, X. (2017). Effects of ciceritol from chickpeas on human colonic microflora and the production of short chain fatty acids by *in vitro* fermentation. *LWT-Food Science and Technology*, 79, 294-299.
- Zheng, J., Wittouck, S., Salvetti, E., Franz, C. M., Harris, H. M., Mattarelli, P., ... & Lebeer, S. (2020). A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 70(4), 2782-2858.
- Zhou, Y., Zhao, S., Jiang, Y., Wei, Y., & Zhou, X. (2019). Regulatory function of buckwheat-resistant starch supplementation on lipid profile and gut microbiota in mice fed with a high-fat diet. *Journal of Food Science*, 84(9), 2674-2681.
- Zhu, F., Du, B., Li, R., & Li, J. (2014). Effect of micronization technology on physicochemical and antioxidant properties of dietary fiber from buckwheat hulls. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 3(3), 30-34.