



Université Mohamed Khider de Biskra

Faculté des sciences exactes et sciences de la nature et de la vie

Département des sciences de la nature et de la vie

MÉMOIRE DE MASTER

Domaine : Sciences de la nature et de la vie

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Biochimie appliquée

Référence / 2018

Présenté et soutenu par :
BENSLITANE MAROUA et BENSALAH RANIA

Thème **Composition nutritionnelle et activité** **antyoxydante des graines de la plante** ***salvia hispanica* (chia seeds).**

Jury:

M.	Ahmed Aathana	MCB	Université biskra	Président
M.	Ahmed Simozreg	MCA	Université biskra	Examineur
M.	Amirouche Deghima	MCB	Université biskra	Rapporteur

Année universitaire: 2021 – 2022

Remerciement

Avant tout nous remercies Dieu tout puissant, pour la volonté, la santé, et la patience qu'il m'a donnée durant toutes ces années d'études, afin je puisse en arrive là.

*Nous voudrions témoigner de nos remerciements et nos gratitude à nous promoteur **Mr DEGHIWA AMIROUCHE**, pour la confiance qu'il nous a accordée, son assistance, sa disponibilité, sa compréhension et ses conseils qui nous ont beaucoup aidés à réaliser ce travail*

Nous tenons à remercier les membres de jury, chacun de son nom, d'avoir accepté d'examiner notre travail

Nous tenons à remercier tous les enseignants du Département des sciences de la nature et de la vie qui nous ont suivis durant notre formation.

À tous les étudiants de master de la promotion 2022.

À toute personne qui a participé de près ou de loin, directement ou indirectement, à la réalisation de ce travail.

Merci pour tout.

Dédicace

Du profonde de mon cœur, je dédie ce modeste travail à :

A ma très chère mère

Ma précieux offre du dieu qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui fait tout pour ma réussite et qui n'a jamais dit non à mes exigences , que dieu la garde

A Mon cher père

Mon soutien dans la vie, Qui doit ma réussite et tout mon respect, Merci beaucoup pour les ailes que vous m'avez données.

*A me cheres sœurs **MERJEM** et **MOUNIA** qui sais pour leurs encouragements permanents, et leur soutien moral, que dieu les protege et leurs offre le bonheur et la reussite.*

A mon adorable petite sœur djoumana qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur pour toute la famille

*Ma très chère amie, sœur et mon binôme **RANIA**, Merci d'être toujours a mes cotés*

*A toute ma famille **Ben Slitane** pour leurs amours et leurs encouragements
à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je
n'arriverais jamais à leur exprimer mon amour*

Maroua

Dédicace

*Avec l'expression de ma reconnaissance, je dédie ce modeste travail
à ceux qui, quels que soient les termes embrassés, je n'arriverais
jamais à leur exprimer mon amour sincère.*

A ma très chère mère

*Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier
comme il se doit. Ton affection me couvre, ta
bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a
toujours été ma source de force pour affronter les
différents obstacles.*

A mon très cher père

*Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager.
Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.*

A mes très chers frères Haroune et Abde elrahmane

Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite

*Sans oublier mon binôme Maroua pour son soutien moral, sa
patience et sa compréhension tout au long de ce projet.*

*A toute ma famille Ben Salah pour leur soutien tout au long de mon
parcours universitaire.*

A tous ceux que j'aime et ceux qui m'aiment.

RANIA

Table des matières

Liste des Tableaux	I
Liste des Figures	II
Liste des abréviations	III
Introduction	1
PREMIERE PARTIE SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	
Chapitre 1 : Généralités	
1 Généralité sur la plante d'intérêt	3
1.1 Généralité sur <i>Salvia hispanica</i>	3
1.2 Origine et distribution Géographique	3
1.3 Description de la plante	4
1.3.1 Description morphologique :	4
1.3.2 Classification botanique	5
1.4 Composition chimique	6
1.5 Applications industrielles	7
1.6 Usage traditionnel	8
DEUXIEME PARTIE PARTIE EXPERIMENTALE	
Chapitre 2 : Matériel et Methode	
2Matériel et methode	10
2.1Matériel végétale (Récolte de la plante)	10
2.2 Methode	10
2.2.1 Composition approximative	10
2.2.2 Profile d'acides gras	13
2.2.3 Analyse des minéraux	13
2.2.4 Extraction	14
2.2.4.1 Preparation des extraits	14

2.2.4.2	Composés phénoliques totaux (TPC).....	16
2.2.4.3	Flavonoïdes <i>totaux</i> (TFC).....	17
2.2.4.4	Analyse HPLC des extraits	17
2.2.4.5	Piégeage du radical libre DPPH.....	19
2.2.4.6	Pouvoir réducteur FRAP.....	20

Chapitre 3 :Résultats et Discussion

2.3	Resultat et discussion.....	22
2.3.1	Composition approximative	22
2.3.2	Analyses des acides gras.....	23
2.3.3	Analyse des minéraux.....	25
2.3.4	Rendement d'extraction :.....	27
2.3.5	Teneur en polyphénols et flavonoïdes totaux.....	27
2.3.6	Analyse chromatographique.....	30
2.3.7	Activitée antioxydante.....	33
2.3.8	Piégeage du radical libre DPPH :	33
2.3.9	Pouvoir réducteur (FRAP).....	34
Conclusion.....		36
Références bibliographique		

Résumé

Liste des Tableaux

Tableau 1. Classification de <i>Salvia hispanica</i>	5
Tableau 2. Dates et zones géographiques de récolte de <i>Salvia hispanica</i>	10
Tableau 3. Résultats de la composition approximative des graines de <i>salvia hispanica</i>	22
Tableau 4. Profile d'acides gras des graines de chia.....	24
Tableau 5. Teneurs des différents minéraux individuels de Graines de <i>Salvia</i>	26
Tableau 6. Rendement et solvant d'extraction de Graines de <i>Salvia hispanica</i>	27
Tableau 7. Teneur des polyphénols et flavonoïdes totaux des différents extraits de <i>salvia hispanica</i>	28
Tableau 8. Acides phénoliques dans les échantillons de chia (<i>Salvia hispanica</i>).....	30
Tableau 9. Activité antioxydante des graines chia évalué par les tests FRAP et DPPH.....	33

Liste des Figures

Figure 1: Culture et dispersion du chia (Jamboonsri <i>et al.</i>, 2012).	4
Figure 2: Plantes de chia en fleurs (à gauche) et graines (à droite) (Kaiser et Ernst,2016).	5
Figure 3. Compositions de base des graines de chia(Kulczyński <i>et al.</i>, 2019)	7

Liste des abréviations

ALA : Acide alpha linoléique

AGS : acide gras saturé

AGMI : acide gras mono-insaturé

AGPI : acide gras poly insaturé

AlCl₃ : Trichlorure d'aluminium

BDE : Méthode de bligh -dyer

DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazy

DMSO : dimethylsulfoxyde

FRAP : Pouvoir Antioxydants Réducteur Ferrique

HCL : Acide chlorhydrique

HE : Extrait exanique

HPLC : Chromatographie liquide à haute performance

IC₅₀ : Concentration efficace médiane

NaCO₂ : nitrite de sodium

NaCO₃ : carbone de sodium

RPE : la résonance paramagnétique électronique

TPC : polyphénols totaux.

TPTZ : 2,4,6-tripyridyl-s-triazine

TFC : flavonoides totaux

Introduction

Introduction

La malnutrition dans son sens le plus large, est une condition dangereuse qui survient lorsque notre alimentation manque d'une nutrition adéquate. Cela peut se produire de deux manières : la suralimentation, qui survient lorsque nous consommons des quantités excessives de nutriments, et la dénutrition, qui survient lorsque nous consommons des quantités insuffisantes de nutriments. Malgré les gains économiques du monde développé au cours des dernières décennies, des millions de personnes se couchent encore le ventre vide chaque nuit, y compris dans certains des pays les plus pauvres du monde. La malnutrition est causée par diverses raisons, notamment l'état de santé à long terme et le fonctionnement de l'organisme en raison du vieillissement. En plus d'un apport nutritionnel insuffisant, d'autres facteurs tels que l'éducation, la santé, la sécurité alimentaire, les conditions économiques et environnementales et la position politique ont tous un rôle à jouer dans la dénutrition (**Ahmed et al.,2022**). Les aliments fonctionnels ont la capacité de répondre à tous les besoins nutritionnels d'une personne, ils comprennent également des sources alternatives de protéines. La meilleure méthode pour éviter la malnutrition est de manger des fruits, des légumes, des céréales et des aliments riches en protéines. La malnutrition peut également être prévenue en prenant un supplément et en ajoutant des micronutriments ou des aliments enrichis à son alimentation (**Ahmed et al.,2022**). Dans ce sens, Les plantes continuent d'être une source importante de substances bénéfiques pour la santé humaine. Les pays pauvres utilisent ces plantes comme ingrédient essentiel dans la fabrication des aliments. Les plantes médicinales ont suscité beaucoup d'intérêt, notamment dans les pays pauvres, en raison de leur longue histoire d'utilisation en médecine traditionnelle et de leurs effets préventifs (**Martinez-Cruz et Paredes-Lopez,2014**). L'une des plus importantes de ces plantes est la chia.

Les graines de chia (*Salvia hispanica*) sont originaires du Mexique et appartiennent à la famille des Lamiacées. Les graines de chia sont utilisées comme huile de graines, mucilage, farine ou graines entières. Les boissons à base de graines de chia entières sont de plus en plus populaires au Mexique, tout comme son utilisation comme composant dans les produits alimentaires. Ainsi, le nombre de publications sur les graines de chia augmente rapidement ces dernières années décrivant son utilisation comme additif alimentaire. Elles ont été valorisées en raison de leurs propriétés nutritionnelles supérieures telles que la teneur en lipides, les polyphénols et les fibres (**Din et al.,2021**). Les graines de Chia sont très importantes pour enrichir l'alimentation, car elles sont riches en acides gras polyinsaturés, en

antioxydants, en fibres alimentaires, en protéines et en composés phénoliques (**Mihafu et al.,2020**).

Le but de cette étude qui est basée sur la recherche et la synthèse bibliographique, est de collecter des informations scientifiques sur les propriétés nutritionnelles et les activités biologique des graines de la plante *salvia hispanica*L. Ce travail comporte deux parties : Une partie contenant des généralités sur la plante *salvia hispanica*L et ses graines, et une partie expérimentale devisée en deux chapitres : Le premier chapitre intitulé matériel et méthode comprend toutes les analyses et les tests rapportés dans les articles consultés. Le deuxième chapitre, résultats et discussion consiste à la comparaison et la discussion des résultats des différentes études.

**Première partie Synthèse
bibliographique**

Chapitre 1

Généralités

1 Généralité sur la plante d'intérêt

1.1 Généralité sur *Salviahispanica*

chia est une plante herbacée annuelle indigène du centre du Mexique et du nord du Guatemala La qui appartient à la famille des *Lamiaceae* (**Abdelhalim et Hanrahan, 2021**). La chia est actuellement utilisées comme aliment fonctionnel et également pour produire des suppléments et des produits nutraceutiques. La chia a été classé par le botaniste suédois Carl Von Linneo en 1753, qui l'a nommé *Salvia* (sauver ou guérir) *hispanica* (espagnol) qui en latin signifie plante espagnole pour guérir ou sauver (**Sosa et al., 2016**). Le terme Chian (maintenant connu sous le nom de chia) signifie huileux en Nahuatl. Les Aztèques l'utilisaient pour désigner toutes les espèces du genre *Salvia* dont le trait principal est leur forte teneur en huile (**Sosa et al., 2016**). La production, la consommation et la demande de chia au Mexique et dans le monde ont considérablement augmenté ces dernières années, étant une source d'huile avec des niveaux élevés d'acides gras polyinsaturés et de composés phénoliques. Au Mexique, il y a une augmentation progressive de la superficie ensemencée. En 2006 seulement 15 ha et en 2014, 16 721 ha ont été cultivés, augmentant de 11 473 ha, ceci à cause du succès que cette plante a eu, puisqu'elle est plus rentable que le maïs grâce à ses propriétés nutraceutiques (**XingúLópez et al., 2017**).

1.2 Origine et distribution Géographique

Le genre *Salvia* se compose d'environ 900 espèces, largement distribuées depuis des milliers d'années dans plusieurs régions du monde, notamment l'Afrique australe, l'Amérique centrale, l'Amérique du Nord et du Sud et l'Asie du Sud-Est. Comme indiqué dans la littérature, la chia est aujourd'hui non seulement cultivé au Mexique et au Guatemala, mais aussi en Australie, en Bolivie, en Colombie, au Pérou, en Argentine, en Amérique et en Europe. De nos jours, le Mexique est reconnu comme le plus grand producteur de chia au monde (**KnezHrnčić et al., 2019**).

Elle pousse naturellement dans les zones de forêts de chênes ou de pins, où les températures sont généralement basses, elle est répartie dans les milieux semi-chauds et tempérés de l'axe néo volcanique transversal de la Sierra Madre Occidental et du Chiapas méridional, des altitudes allant de 1400 à 2200 m (**Figure 1**) (**Di Sapiot et al., 2012**).



Figure 1: Culture et dispersion du chia (Jamboonsri *et al.*, 2012).

1.3 Description de la plante

1.3.1 Description morphologique :

Cette plante est une herbe annuelle qui fleurit en été et atteint environ un mètre de haut, avec des feuilles pétiolées inversées et dentelées (4–8 cm de long ; 3–5 cm de large) et des fleurs hermaphrodites (**figure2**). La plante peut prospérer dans une variété de sols argileux et sablonneux bien drainés avec une tolérance raisonnable au sel et à l'acidité. Elle peut produire 500 à 600 kg de graines/acre, mais avec les bonnes conditions agronomiques, elle peut produire 2500 kg /acre (Ullah *et al.*, 2016).

Les graines sont lisses et brillantes, de couleur gris-brun avec des points brun foncé qui peuvent être blancs (Di Sapia *et al.*, 2012), elles sont petites et légères (**figure2**), les 1000 graines peuvent peser entre 0,94 et 1,29 g (Busilacchi *et al.*, 2013), *S. hispanica* est une plante autogame ; les insectes sont responsables de la pollinisation croisée, mais les graines sont le mode de reproduction le plus répandu (López *et al.*, 2017).



Figure 2:Plantes de chia en fleurs (à gauche) et graines (à droite) (**Kaiser et Ernst,2016**).

1.3.2 Classification botanique

La plante de chia appartient à la famille des Lamiacées. Sa classification est la suivante (**Tableau 1**)

Tableau 1. Classification de *Salvia hispanica* (**Hernández,2012**).

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Asteridae
Ordre	Lamiales
Famille	Lamiacée
Genre	<i>Salvia</i>
Espèce	<i>SalviahispanicaL.</i>

1.4 Composition chimique

Les graines de chia se voient attribuer une valeur nutritive élevée, notamment grâce à leur teneur élevée en fibres alimentaires et en graisses. En termes de teneur en fibres alimentaires, les graines de chia dépassent les fruits secs, les céréales ou les noix (Figure 3). Le profil des acides gras est particulièrement intéressant. Il se caractérise par une teneur élevée en acides gras polyinsaturés, principalement en acide linoléique (ALA). Les acides linoléique, oléique et palmitique sont présents en moindre quantité. Les graines de chia ont une plus grande teneur en acides oméga-3 que les graines de lin. Les graines de chia sont également une bonne source de protéines végétales. Les analyses de la composition en acides aminés ont confirmé la présence de 10 acides aminés exogènes (essentiels), parmi lesquels les teneurs les plus élevées étaient pour l'arginine, la leucine, la phénylalanine, la valine et la lysine. Les protéines des graines de chia sont également riches en acides aminés endogènes (non essentiel), principalement les acides glutamique et aspartique, l'alanine, la sérine et la glycine. Les graines de chia sont sans gluten et peuvent donc être consommées par les patients cœliaques. De plus, les graines de chia fournissent de nombreux minéraux, phosphore, calcium, potassium et du magnésium trouvé en plus grande quantité. Des études ont également confirmé la présence de certaines vitamines, principalement la vitamine B1, la vitamine B2 et la niacine. Les graines de chia sont également une riche source de groupes particulièrement intéressants de phytoconstitués caractérisés par une activité biologique élevée comme les polyphénols. Par ailleurs, il a été constaté que les graines de chia contiennent également des tocophérols : tocophérol (8 mg/kg de lipides), α -tocophérol (422 mg/kg de lipides) et β -tocophérol (15 mg/kg de lipides) (Kulczyński *et al.*,2019).

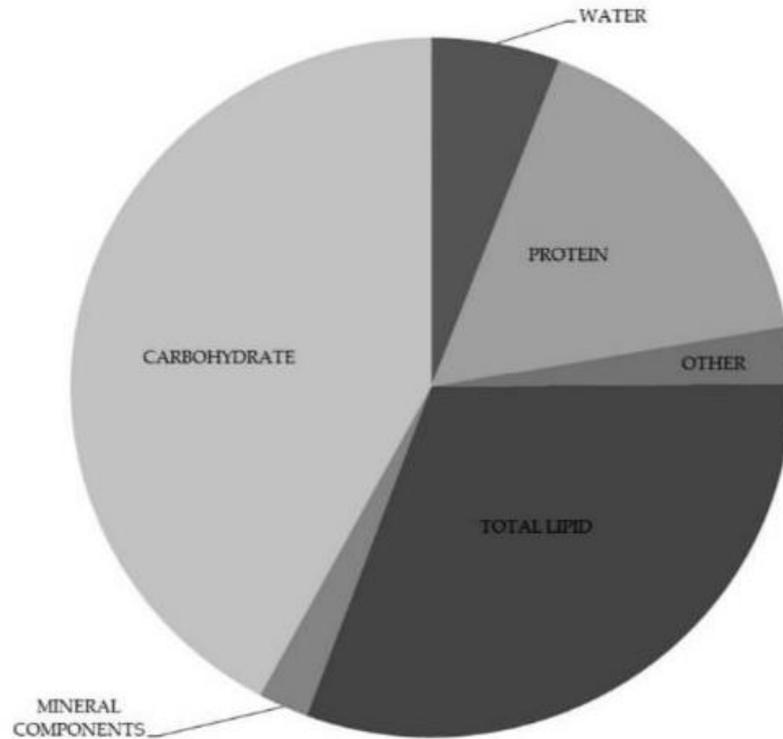


Figure 3. Compositions de base des graines de chia(Kulczyński *et al.*, 2019)

1.5 Applications industrielles

La chia est une matière première dans l'industrie alimentaire pour sa teneur en fibres alimentaires. La gomme peut être extraite de la fraction de fibres alimentaires de Chia par traitement des graines avec de l'eau pour être utilisée comme additif pour contrôler la viscosité, la stabilité, la texture et la consistance dans les systèmes alimentaires (Zettel et Hitzmann, 2018) .

Le gel de chia est utilisé comme substitut de graisse animale dans les produits alimentaires. Le remplacement a donné des pâtes plus molles avec des valeurs décroissantes pour les modules de stockage et de perte avec une teneur croissante en chia déterminée par des mesures au rhéomètre. L'application du chia dans les produits laitiers est en augmentation récente, Le mucilage de chia est utilisé comme épaississant dans la crème glacée et aussi La quantité d'acides gras ω -3 dans la crème glacée a été augmentée avec la fraction oléine de l'huile de chia sans effets négatifs jusqu'à 30 jours de stockage. Le yaourt semble également être une application prometteuse pour les graines de chia. L'ajout des graines de chia au yogourt comme collation en milieu de matinée avec l'effet d'une satiété à court terme qui se traduit par un apport énergétique inférieur à l'heure du déjeuner. D'autres applications de l'incorporation de chia dans les produits laitiers ont été testées (Zettel et Hitzmann, 2018).

Les produits à base de viande étaient également enrichis de produits à base de graines de chia. Des améliorations des propriétés nutritionnelles, physicochimiques et sensorielles des produits de type jambon restructuré ont été obtenues. Des burgers faibles en gras ont été produits avec des microparticules d'huile de chia remplaçant 50 % des matières grasses. La chia est également utilisée dans les pains spéciaux du régime sans gluten, pour améliorer la qualité nutritionnelle de ces produits qui est généralement faible (**Zettel et Hitzmann, 2018**).

Pour les applications d'aliments fonctionnels, de nouvelles substances à haute gélification et stabilité d'émulsion sont nécessaires. L'amélioration des valeurs nutritionnelles en combinant le chia avec d'autres céréales importantes a été évaluée. Ils ont proposé ces gels obtenus avec des capacités de gélification et des stabilités d'émulsion élevées pour les aliments fonctionnels. La production des desserts à base de soja avec du mucilage de chia comme épaississant. Les desserts obtenus différaient par leur rhéologie et donc leur consistance, mais pas par leur couleur, leur saveur et leur onctuosité. Ils ont conclu que l'ajout de mucilage de chia peut être effectué sans entraîner de modifications majeures du produit. Le mucilage de chia lyophilisé a été appliqué comme substitut d'œuf ou d'huile. Le remplacement des œufs n'a pas été très efficace, en raison de la diminution de la stabilité de l'émulsion, tandis que le remplacement de l'huile a entraîné une réduction significative des graisses (**Zettel et Hitzmann, 2018**).

1.6 Usage traditionnel

Les graines de chia étaient utilisées comme collation à haute énergie, comme médicament pour traiter les maladies et comme offrande sacrée aux dieux aztèques lors de rites religieux au Mexique (**Akinfenwa et al.,2020**).

Le chia était utilisé par les Aztèques comme aliment, moulu en farine, inclus dans les médicaments, nourri aux oiseaux et pressé pour l'huile à utiliser comme base pour les peintures pour le visage et le corps et pour protéger les statues et les peintures religieuses des éléments. Elle a également été utilisée comme conditionneur pour les combattants et les femmes se préparant à l'accouchement (**López et al.,2017**).

Plusieurs auteurs ont souligné la pertinence du chia en tant que boisson et ingrédient alimentaire dans le Mexique précolombien. Le processus courant de torréfaction et de broyage des graines pour fabriquer de la farine de « Chianpinolli », qui était utilisée dans les tortillas, les tamales et une variété de boissons aztèques appelées « Chianatoles ». Les Aztèques

considéraient la culture de la chia comme aussi vitale que le maïs et, avec l'amarante, elle était très appréciée (**Valdivia-López et Tecante, 2015**).

La chia est l'une des rares plantes médicinales à produire une forte concentration d'huile essentielle, qui est utilisée pour fabriquer des capsules d'oméga-3 (**Ullah *et al.*, 2016**).

Deuxième partie

Partie expérimentale

Chapitre 2

Matériel et Méthodes

2 Matériel et Méthode

2.1 Matériel végétale (Récolte de la plante)

La récolte des graines de Chia (*Salvia hispanica*) a été réalisée dans des pays et des périodes d'années différentes. Après la récolte, tous les échantillons ont été nettoyés et séparés des matières étrangères (poussière, graines vaines et paille de graines battues), puis les graines ont été broyées et stockés jusqu'à utilisation.

Tableau 2.Dates et zones géographiques de récolte de *Salvia hispanica*

Référence	Date /lieu	Traitement
Marineli et al., (2014)	Sud des USA, Santiago	Broyées puis passé au tamis de 0,850 mm
Saphier et al.,(2017)	/	Broyage électrique pendant 4 min
Martínez-Cruz et Paredes-López,(2013)	Mexique /Novembre 2010	Broyés à l'aide d'azote liquide puis ont été conservés à 4 °C
Rodrigues et al., (2018)	Dubai	Broyage à l'aide d'un pilon

2.2 Méthode

2.2.1 Composition approximative

La teneur en humidité, en cendres, en matières grasses, en protéines et en glucides font tous partie de la composition approximative de l'aliment. Dans le secteur alimentaire, certains composants alimentaires peuvent être utilisés pour le développement de produits, le contrôle qualité (CQ) ou à des fins réglementaires. Les analyses utilisées pour la détermination de ces facteurs sont des tests formels, précis et qui prennent du temps. Pour garantir l'analyse d'un échantillon homogène et représentatif, ainsi que des résultats fiables, le prélèvement et la préparation des échantillons doivent être soigneusement examinés. Des méthodes standardisées sont mises en place par l'Association internationale officiels des chimistes analytiques (AOAC) (**Thangaraj, 2016**).

Ces méthodes sont citées brièvement dans les deux études de **Rodríguez et al., (2021)** et **Barreto et al., (2016)**.

Dans l'étude de **Rodríguez *et al.*, (2021)**, 3 g de graines chia fraîches ont été broyées dans un broyeur pour la détermination de l'humidité totale, et la technique gravimétrique a été utilisée dans un four de séchage à 102°C. L'échantillon a été séché avant d'être brûlé à 550°C dans un four à moufle jusqu'à ce qu'il soit réduit en cendre blanche pour la détermination des cendres totaux par gravimétrie. Après digestion à l'acide sulfurique, les protéines totales ont été déterminées par la technique de Kjeldhal (**AOAC, 1997**). La technique de Soxhlet a été utilisée pour calculer la teneur totale en matières grasses. 2 g d'échantillon ont été hydrolysés avec de l'acide chlorhydrique 4 M, extraits avec de l'éther de pétrole et séchés à 40–60 degrés Celsius. Après extraction, le gras total a été déterminé par gravimétrie (**AOAC, 1997**). La différence entre la somme de la teneur en protéines, matières grasses, cendres et fibres brutes a été utilisée pour calculer la teneur en glucides sous forme d'extrait sans azote (NFE). L'analyse gravimétrique enzymatique a été utilisée pour déterminer les fibres alimentaires totales (**AOAC, 1997**).

Sur le même principe, **Barreto *et al.*, (2016)** a déterminé la composition chimique des échantillons en utilisant les méthodes décrites par l'AOAC. La teneur en humidité a été déterminée par séchage jusqu'à poids constant dans une étuve ventilée (Quimis, Q31M242). Les lipides totaux ont été déterminés en utilisant de l'éther éthylique comme solvant dans un extracteur de matières grasses (Quimis, Q308G26). En utilisant un taux de conversion de l'azote de 6,25, la technique de micro Kjeldahl a été utilisée pour quantifier les protéines totales. Pour déterminer la teneur totale en cendres, des échantillons ont été brûlés à 550°C dans un four à moufle (Coel, UL 1400). La technique enzymatique gravimétrique a été utilisée pour déterminer les teneurs en fibres solubles et insolubles. La teneur en glucides a été estimée en soustrayant la somme totale d'humidité, de cendres, de lipides, de protéines et de fibres alimentaires.

Certaines des méthodes précédemment citées sont détaillées ci-dessous :

Mihafu *et al.*, (2019) ont utilisé la méthode de séchage au four pour déterminer la teneur en humidité. Les 5 g d'échantillons (W1) ont été pesés sur des coupelles en aluminium pré-pesées et cuits pendant 4 heures à 105°C dans une étuve. Les échantillons ont été sortis du four et refroidis pendant 30 minutes dans un dessiccateur. Les échantillons séchés (W2) ont été pesés et le % d'humidité a été estimé à l'aide de la formule suivante :

$$\% \text{ humidité} = [(w1 - w2) / W2] \times 100$$

Pour les cendres, **Mihafu et al.,(2019)** ont utilisés un four à moufle électrique (Advantec KL-420, Japon) pour incinérer un échantillon de 3 g à 550°C pendant 12 heures afin de déterminer les cendres totales et calculer le pourcentage comme suit :

$$\text{Les cendres} = (\text{poids cendré} / \text{poids échantillons}) \times 100$$

Pour les protéines totales, **Mihafu et al.,(2019)**, cette étape est réalisée en trois phases : digestion, distillation et titrage. Les unités Kjeldahl (HeatingDigester DK 6, VelpScientifica, Italie) ont été utilisés pour déterminer les protéines brutes. 15 ml de H₂SO₄, 0,5 g de CuSO₄ et 5 g de K₂SO₄ ont été placés dans les tubes de digestion et fixés sur le digesteur, ainsi que 1,5 g d'échantillons dans les colonnes/tubes de digestion. Le digesteur a été allumé pour commencer le processus de digestion d'une heure et demie. Le digesteur a ensuite été éteint, les échantillons ont été refroidis et ils ont été dilués avec 100 ml d'eau distillée. La distillation a été effectuée sur les échantillons dilués en utilisant du NaOH (40 %), d'acide borique (H₃BO₃) (4 %) et un indicateur mixte (vert de bromocrésol + rouge de méthyle + bleu de thymol). Un volume de 60 ml de chaque échantillon a été prélevés pendant la distillation et utilisés pour le titrage. La méthode de titrage a été réalisée avec de l'acide chlorhydrique (0,02 N) et un indicateur mixte. Les valeurs suivantes ont été enregistrées et utilisées dans les calculs :

$$(V-B) \times C \text{ (mol/L)} \times M_wN/L \times f \times 100/S = N\%$$

Où V est le volume du titrant et B est le volume du blanc C représente la concentration d'acide, M_wN/L représente le poids moléculaire de l'azote par litre, f représente le facteur de dilution et S représente le poids de l'échantillon.

$$\%N = [(V-B \times 0.02 \times 0.04 \times 10 \times 100)] / S$$

$$\% \text{ protéine totales} = \% N \times \text{protéine facteur (6,25)}$$

Les matières grasses brutes, **Mihafu et al.,(2019)**, ont été évaluées à l'aide d'un extracteur Soxhlet (Ikeda Scientific Co. Ltd., Allemagne). Une masse de 2 g d'échantillon (W1) a été pesée et recouverte de laine de verre sur des cartouches d'extraction pré-pesées. Les flacons contenant les échantillons ont été reliés à l'extracteur relié au condenseur après avoir été pesés (W2) et 100 ml d'éther de pétrole ont été versés dans chaque flacon. Dans tout l'appareil, l'eau froide a été autorisée à s'écouler à un débit constant. Le réchauffeur a été éteint et la température du solvant a été ajustée de manière à ce qu'il bout doucement à un taux de 2 à 3 gouttes par seconde. Les échantillons dans les flacons ont été refroidis et fixés à

un évaporateur rotatif après 8 heures de reflux (BibbySterilin Ltd.) et évaporé à sec. Les échantillons des flacons ont été séchés pendant 1 heure à 70°C dans une étuve à air, puis refroidis dans un dessiccateur avant d'être pesés (W3). Le pourcentage de graisse a été calculé comme suit

$$: \% \text{lipide totaux} = (W3 - W2) / W1 \times 100$$

2.2.2 Profile d'acides gras

L'identification des acides gras dans l'huile des graines chia a été effectuée à l'aide d'une chromatographie en phase gazeuse (système GC) capillaire de type Agilent série 6850, équipé d'une colonne capillaire Agilent DB-23 (50 % de cyanopropyl-méthylpolysiloxane, 60 m 0,25 mm 0,25 µm) et d'un détecteur à ionisation de flamme (FID). Cette analyse est effectuée après estérification des acides gras (**Rodriguez et al., 2018**).

Pour **Mihafu et al., (2019)**, La réaction d'estérification a été utilisée pour transformer les acides gras en leurs équivalents esters méthyliques d'acides gras (FAME) à partir des lipides isolés. Ensuite, la chromatographie en phase gazeuse a été utilisée pour effectuer l'analyse (GC-2010 PLUS AF 230V, Shimadzu, Japon) avec un détecteur ionisation de flamme (FID : hydrogène + air comprimé). La colonne mesurait 30 m x 0,53 mm x 0,5 L. Les acides gras individuels sont estimés en fonction de leur masse dans 100 grammes d'huile.

La même méthode est utilisée par **Marineli et al., (2018)**, avec un modèle différent d'équipement. Dans cette étude un système GC capillaire Agilent série 6850, menu d'une colonne capillaire Agilent DB-23 (50 % de cyanopropyl-méthylpolysiloxane, 60 m 0,25 mm 0,25 µm) et d'un détecteur à ionisation de flamme (FID) ont été utilisés. Dans les mêmes conditions de travail, les temps de rétention ont été comparés à un mélange standard de FAME (FAME Mix GLC-68A ; NuChek-Prep, INC, Elysian, MN USA) et quantifier à l'aide de la surface sous la courbe.

2.2.3 Analyse des minéraux

L'analyse des minéraux est réalisée dans toutes les études sur l'échantillon incinéré utilisé pour la détermination des cendres dans les échantillons que nous avons déjà décrits.

Pour **Mihafu et al., (2019)**, Les cendres de chaque échantillon ont été dissoute dans 100 mL d'acide nitrique (1N), puis filtrée à l'aide de papier Whatman no. 42 avant d'être conservés dans des bouteilles en plastique de 150 ml avec des couvercles étanches. Toutes les analyses minérales ont été réalisées en triple exemplaire. Un spectrophotomètre d'absorption atomique

SAA(AA-7000 Shimadzu, Japon) avec des paramètres appropriées a été utilisé pour estimer le calcium, le magnésium, le potassium, le fer, le zinc, le manganèse et le cuivre. Une méthode d'ajustement du pH (réactif mixte molybdate d'ammonium/vanadate d'ammonium) a été utilisée pour quantifier le phosphore total.

Contrairement à l'étude de **Mihafu *et al.*, (2019)**, qui a utilisé la spectrophotométrie d'absorption atomique (SAA), **Barreto *et al.*, (2016)** a utilisé une méthode plus récente qui est la spectrométrie d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES).

Dans l'étude de **Barreto *et al.*, (2016)**, les échantillons de graines de Chia ont été exposés à un traitement chimique et thermique pour préparer les cendres et favoriser une plus grande libération d'éléments minéraux lors de l'analyse ICP-OES. Les échantillons ont été transférés dans une fiole jaugée et de l'eau MilliQ a été ajoutée. Les mesures ICP-OES ont été prises directement à partir de ce flacon, et différentes dilutions ont été utilisées pour chaque minéral. Pour chaque minéral, une courbe analytique a été créée en commençant par une solution mère standard de 1000 mg/L (Sigma-Aldrich, St. Louis, MO) et en préparant des solutions de travail standard à des concentrations de 1, 2, 5, 7,5 et 10 mg /L dans une solution aqueuse acidifiée à 10 % (v/v) à l'aide d'acide chlorhydrique. Les solutions étalons minérales ont été examinées directement à l'aide d'un spectromètre d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-OES) en configuration axiale (Perkin Elmer, mod Optima 2000DV Sampler, mod As90plus) à une puissance radio fréquence de 1400 kw et un débit de gaz de 0,60 L/min.

Yi Ding *et al.*, (2016) a aussi utilisé la méthode ICP mais avec un détecteur de type : Spectrométrie de masse (ICP-MS). Dans cette étude deux millilitres d'acide nitrique à 70 % ont été ajoutés pour dissoudre l'échantillon incinéré. Les échantillons acidifiés ont été filtrés après avoir été dilués dans H₂O bidistillé dans une bouteille volumétrique de 50 ml. Un spectromètre d'émission optique à plasma à couplage inductif (ICP-MS; Thermo Fisher Scientific Inc., Waltham, MA, États-Unis) a été utilisé pour examiner le profil minéral des graines de Chia.

2.2.4 Extraction

2.2.4.1 Préparation des extraits

L'extraction solide-liquide est une méthode de séparation physique qui a été utilisé pour préparer les extraits brut à partir des graines chia en utilisant différents solvants, ce procédé d'extraction a été utilisé en raison de son efficacité et sa simplicité

Selon **Marineli et al., (2019)**, un gramme de farine dégraissée a été extrait pendant trois heures à température ambiante avec dix millilitres d'éthanol et sous agitation mécanique. Le mélange a été centrifugé pendant 15 minutes à 3000 g. À l'aide d'un équipement rotavapor, le surnageant a été évaporé et dissous dans 1 ml d'éthanol constituant ainsi l'extrait brut.

Pour **Saphier et al., (2017)** des échantillons de chia pesant 5,0 g ont été extraits avec 50 ml d'un mélange de solvants (éthanol et eau à divers rapports : (eau/éthanol(80:20) / (50:50) / (20:80), respectivement). Après, une goutte de l'acide chlorhydrique (HCl) à 5 M est ajoutée à chaque échantillon pour empêcher l'oxydation des polyphénols pendant la procédure d'extraction. Le mélange d'extraction a été agité pendant 72 heures à température ambiante dans un bain-marie à agitation. La filtration Buchner a été effectuée dans un système sous vide avec un papier filtre "4 whatman".

Martínez-Cruz et Paredes-López, (2013) ont réalisé 2 extractions, en triple exemplaire, 0,5 g de farine a été extraite avec 3 mL de méthanol à 70 % à 30 °C pendant 24 heures sous agitation mécanique. Le mélange a été centrifugé pendant 5 minutes à 12 000 tr/min et le surnageant a été conservé à -70°C pour un examen plus approfondi. Une autre masse de 0,1 g de farine a aussi été extraite avec une solution de 2 ml d'un mélange de méthanol : eau 70:30 v/v, mais cette fois avec 0,1 pour cent d'acide acétique pour l'évaluation de la teneur en isoflavones. Le mélange a été incubé pendant 1 h à 30°C sous agitation mécanique et le surnageant a été recueilli après 5 minutes à 12 000 tr/min.

Dans l'étude de **Rodrigues et al., (2018)**, deux procédures différentes ont été utilisées pour extraire l'huile des graines de *Salvia hispanica* (Chia) ; 5 g de graines ont été transférés dans un pot en porcelaine et utilisés pour les méthodes d'extraction suivantes :

Extrait hexanique (HE): les graines ont été écrasées avec un pilon et macérées pendant 72 heures dans 150 ml d'hexane. 100 ml d'hexane ont été ajoutés après évaporation du solvant à 60 °C maximum. La méthode a été répétée au moins deux fois de plus jusqu'à ce que les graines soient complètement épuisées. L'huile résiduelle de toutes les répétitions a été combinée et pesée avant d'être maintenue à une température inférieure à 20 degrés Celsius.

Méthode de Blich-Dyer (BDE) : Cette méthode consiste en une extraction lipidique caractérisée par le mélange de chloroforme, de méthanol et d'eau (1:2:0,8) de l'échantillon, suivi d'une agitation continue pendant 30 min à froid. Après l'addition de chloroforme et de sulfate de sodium à 1,5 %, les solutions ont été agitées pendant 2 minutes avant que les solvants en excès (couche inférieure à la fin du procédé) ne soient éliminés avec une pipette.

Pour éliminer le sulfate de sodium de l'huile, l'extrait restant a été filtré. De plus, en utilisant du diméthylsulfoxyde (DMSO) comme solvant, les huiles concentrées (HE et BDE) ont été diluées à cinq concentrations : 1, 1,5, 2, 2,5 et 3 % (pourcentage du volume total d'huile). Pour éviter d'éventuels changements dans la composition de l'huile, les solutions mères ont été préparées et stockées à -20°C, et décongelées pas plus de trois fois.

2.2.4.2 Composés phénoliques totaux (TPC)

La teneur en composés phénoliques totaux a été déterminée en utilisant la procédure Folin-Ciocalteu. Cette technique est basée sur la réaction redox du réactif, qui produit un pigment bleu avec une absorbance typique de 760 nm. Cette méthode d'expression est utilisée pour déterminer la teneur en phénol de divers analytes. Ce test a été réalisé par **Saphier et al., (2017)**, **Scapin et al., (2015)**, **Rahman et al., (2017)** avec quelques variations dans les volumes des réactifs et les temps d'incubations. Conformément à la courbe d'étalonnage de l'acide gallique en milieu expérimental ($R = 0,99$), la quantité totale de polyphénols est mesurée en équivalent d'acide gallique (GAE)/ g de graines sèches.

Pour **Saphier et al., (2017)** la quantité totale de polyphénols a été mesurée en mg équivalent d'acide gallique (GAE), pour 1,0 g de graines sèches. Un spectrophotomètre Cary 100 Bio UV-Visible a été utilisé pour toutes les mesures UV-Visible

Dans l'étude de **Scapin et al., (2015)**, Le réactif de Folin-Ciocalteu a été combiné avec des dilutions appropriées d'extrait. Au bout de 6 minutes, les tubes ont été remplis d'une solution à 7,5 % de carbonate de sodium (Na_2CO_3) et laissés dans l'obscurité pendant 2 heures à température ambiante (environ 23°C). Après cette période, l'absorbance a été mesurée à 765 nm dans un spectrophotomètre (Biospectro, SP-220, So Paulo, Brésil) et comparée à une courbe d'étalonnage de l'acide gallique $Y=0,081x+0,0218$, $R^2 = 0,9967$ (gamme 0 à 70 mg/L). Les résultats ont été calculés en gramme d'équivalent acide gallique par kilogramme d'échantillon sec (g GAE /kg d'échantillon séché).

Pour **Rahman et al.,(2017)**, dans un tube à centrifuger, 0,5 ml de chaque extrait phénolique de chia dissous dans du méthanol a été prélevé. Le réactif de FolinCiocalteu (0,5ml) a ensuite été ajouté et soigneusement mélangé dans le mélange. Après avoir ajouté 8 ml d'eau distillée dans chaque tube pour neutraliser la solution, 1 ml de carbonate de sodium saturé a été ajouté et bien vortexé. Les tubes ont été maintenus à température ambiante pendant 35 minutes dans l'obscurité avant d'être centrifugés pendant 10 minutes à 4000 g. L'absorbance du surnageant de couleur bleue a été mesurée à 725 nm (spectrophotomètre à

réseau de diodes modèle HP 8452A, Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA), avec des blancs adéquats (dépourvus d'extrait phénolique) utilisés pour la soustraction de fond. Les composés phénoliques totaux dans les extraits dégraissés de chia ont été mesurés et exprimés en milligrammes d'équivalents d'acide gallique (mg GAE) par gramme d'échantillon dégraissé.

2.2.4.3 Flavonoïdes totaux (TFC)

Pour **Scapin et al., (2015)**, dans un tube à essai, 250 µl de l'extrait ont été mélangés avec 1250 µl d'eau distillée, puis 75 µl d'une solution à 5% de nitrite de sodium (NaNO₂) ont été ajoutés. Après 5 minutes, 150 µl d'une solution à 10 % de trichlorure d'aluminium (AlCl₃) ont été ajoutés et laissés reposer pendant encore 5 minutes avant d'ajouter 500 µl de NaOH 1 M et 775 µl d'eau distillée et d'agiter le mélange. À l'aide d'un spectrophotomètre (Biospectro SP-220, So Paulo, Brésil), l'absorbance a été mesurée immédiatement à 510 nm et comparée à une courbe d'étalonnage de la quercétine $Y = 0,0082x + 0,0084$, $R^2 = 0,9961$ (gamme de 0 à 80 mg/L). Les résultats ont été représentés en g EQ/kg d'échantillon sec (grammes d'équivalent quercétine par kilogramme d'échantillon sec).

Pour **Rahman et al., (2017)**, chaque extrait de farine de chia (1 ml) a été combiné avec 4 ml d'eau distillée et 0,3 ml d'une solution de NaNO₂ à 5 % dans des tubes à centrifuger. Après 5 minutes, les tubes ont été ouverts et 0,3 ml d'AlCl₃ à 10 % ont été ajoutés au mélange réactionnel. En suite, 2 ml de NaOH 1 M et 2,4 ml d'eau distillée ont été ajoutés après 1 minute et mélangés immédiatement. Les tubes ont été conservés à l'obscurité à température ambiante pendant 15 minutes. Après centrifugation à 4000g pendant 5 minutes, l'absorbance a été mesurée à 510 nm contre un blanc réalisé de la même manière mais avec du méthanol à la place de l'extrait. Le TFC a été estimé à l'aide d'une courbe standard de catéchine et représenté en mg d'équivalents de catéchine (mg CE) par gramme d'échantillon dégraissé.

2.2.4.4 Analyse HPLC des extraits

La chromatographie haute performance et la méthode choisie pour l'analyse des polyphénols dans les extraits de plantes. Différents équipements et détecteurs sont utilisés pour séparer, identifier et même quantifier ces composés.

Selon **Rahman et al., (2017)**, divers acides phénoliques, flavonoïdes et quelques procyanidines ont été identifiés et quantifiés sous forme libre (F), estérifiée (E) et insoluble dans la de farines de graines de chia dégraissées à l'aide de la chromatographie liquide à haute performance (HPLC-DAD-MS/MS). Un système Agilent 1100 (Agilent Technologies, Palo

Alto, CA, USA) a été utilisé pour l'analyse RP-HPLC, avec un détecteur à barrette de diodes (DAD, G1315B). Les composés phénoliques ont été séparés à l'aide d'une colonne Superlcosiltm Lc-18 (4.6X250 mm, 5 µm, Merck, Darmstadt, Allemagne). La phase mobile consistait en 0,1 % d'acide formique (éluant A) dans l'eau distillée et 0,1 % d'acide formique dans de l'acétonitrile (éluant B). Le système de solvant à gradient utilisé était le suivant : 0 min, 100% A ; 5 min, 90 % A ; 35 min, 85 % A ; 45 min, 60 % A ; tenue à 60 % A de 45 à 50 minutes ; ensuite, la phase mobile A a été portée à 100 % à 55 minutes, suivie d'un équilibrage de la colonne de 55 à 65 minutes. A une longueur d'onde de 280 nm, des acides phénoliques et des flavonoïdes ont été identifiés.

Toujours dans la même étude, L'analyse HPLC-ESI-MSⁿ a été utilisée pour l'identification des composés phénoliques à partir de graines de chia dégraissées à l'aide d'un spectrophotomètre de masse à piège à ions à détecteur sélectif de masse avec un chromatographe liquide capillaire Agilent série 1100 (Agilent Technologies) et une ionisation par électrospray (ESI) en mode négatif pour les acides phénoliques et les flavonoïdes. Le logiciel Agilent LC-MSD a été utilisé pour collecter et analyser les résultats (Agilent Technologies). En comparant les temps de rétention et les spectres d'absorption UV des étalons authentiques, les composés phénoliques ont été identifiés et validés par LC-MS/MS. À l'aide de données de spectrométrie de masse en tandem (MSⁿ), des données spectrales UV et de données de la littérature, les composés sans standards purs ont été provisoirement identifiés. La quantification des composés phénoliques a été effectuée en représentant graphiquement les régions de pic HPLC par rapport aux concentrations en utilisant un détecteur à barrette de diodes pour créer des courbes standard de leurs composés de référence (DAD). La quantification des composés sans matériau de référence standard a été effectuée à l'aide de courbes standard de composés identiques du même sous-groupe phénolique. Les résultats de la mesure du composé phénolique ont été représentés en µg/g d'échantillon dégraissé.

Pour **Rodríguez *et al.*, (2021)**, un équipement HPLC Agilent 1260 (Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA) avec un détecteur à barrette de diodes (DAD) a été utilisé pour les analyses HPLC. Une colonne AgilentZorBax Eclipse Plus C18 (1,8µm, 4,6 X 150 mm) a été utilisée pour séparer les échantillons. De l'eau avec 0,1 % d'acide formique (A) et du méthanol (B) ont été utilisés comme phases mobiles, avec un profil d'éluion en gradient de 0 min, 5 % de B ; 15 min, 30 % B ; 20 minutes, 95 % B ; 25 min, 5% B. Pendant 5 minutes, les conditions initiales ont été maintenues. La détection a été effectuée à l'aide d'un

spectromètre de masse Agilent 6540 Ultra-High-Definition (UHD) Accurate Mass Q-TOF fonctionnant en mode d'ionisation négatif et équipé d'une double interface ESI Jet Stream. La version B.06.00 du logiciel de poste de travail Masshunter était en charge de toutes les opérations, de la collecte des données et de l'analyse (Agilent Technologies, USA).

Selon **Martinez-Cruz et Paredes-lopez, (2014)**, un système U Agilent 1290 (Agilent Technologies, Santa Clara, CA) avec une colonne ZORBAX RRHD Eclipse Plus C18, 1,8µm, 50 mm X 2,1 mm i.d., a été utilisée pour séparer les composés phénoliques et les isoflavones. La séparation a été réalisée en utilisant la phase mobile suivante : 2 % d'acide acétique dans l'eau (solvant A) et 2 % d'acide acétique, 30 % d'acétonitrile et 68 % d'eau (solvant B). Le programme de gradient suivant a été utilisé pour faire fonctionner le système : 0 à 4 minutes à 0 à 10 % de B ; 4–6 minutes à 10–15 % B ; 6–8 minutes à 15–40 % B ; 8–14 minutes à 40–100 % B ; et enfin 2 minutes à 0 % B pour l'équilibrage de la colonne pour la prochaine analyse et l'absorbance a été déterminée à 280, 325 et 260 nm.

2.2.4.5 Piégeage du radical libre DPPH

L'activité antioxydante des extraits des graines de chia a été déterminée par la capacité de séquestration du radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl). Ce test a été réalisé par **Scapin et al., (2016)** et **Rodrigues et al., (2018)** avec quelques modifications.

Pour **Scapin et al., (2016)**, 5 mL d'une solution d'éthanol (80 % v/v) contenant 0,1 mM de DPPH sont incubés pendant 30 minutes avec 5 mL de solutions contenant des concentrations croissantes d'extrait de chia (0,7, 1,5, 3,0, 6,25, 12,5, 25,0, 50,0 µg/mL). Après incubation à une longueur d'onde de 517 nm, les échantillons ont été mesurés dans un spectrophotomètre (Biospectro SP-220, So Paulo, Brésil). Selon l'équation 1, le pourcentage de capture de radicaux DPPH a été utilisé pour calculer le pourcentage d'activité antioxydants (pourcentage AA).

$$AA\% = 100 - \{[(Abs \text{ sample} - Abs \text{ blank}) \times 100] / Abs \text{ DPPH}\}$$

Après, la concentration requise pour capter 50% du radical libre DPPH (IC50) est calculée après évaluation de la plage de concentration optimale.

Pour **Martinez-Cruz et Paredes-lopez, (2014)**, Une plaque à 96 puits a été remplie avec des aliquotes de 280 µL de solution DPPH/méthanol 100 M et 20 µL d'extraits bruts. Comme blanc, 20 microlitres de méthanol ont été insérés dans la première rangée. Les plaques ont été incubées dans l'obscurité pendant 30 minutes avant de lire l'absorbance à 517 nm dans un lecteur de microplaques Benchmark plus (Bio-rad). Les mesures ont été faites

en triple. L'activité antioxydants a été estimée à l'aide de l'équation 2 et rapportée sous la forme d'un pourcentage d'inhibition du radical DPPH.

$$(\%) \text{ Inhibition} = ((\text{Abscontrol} - \text{Absample}) / \text{Abscontrol}) \times 100$$

Pour **Marineli et al., (2014)**, l'extrait (33 μ l) a été mélangé avec 1,3 ml de solution de DPPH dilué dans du méthanol (0,024 mg/ml), agité et incubé dans l'obscurité pendant 30 minutes, l'absorbance étant mesurée à 515 nm. La courbe standard de Trolox a été créée (5-600 μ mol TE). Les unités de mesure étaient μ mol Trolox équivalent (TE)/g d'extrait.

Rahman et al., (2017), 250 ml d'extraits phénoliques liés, libres, estérifiés et insolubles dilués de manière appropriée (jusqu'à une plage de concentration de 0,15 à 0,21 mg / ml d'extrait, selon la courbe standard) ont été soigneusement mélangés avec 1 ml de 0,3 mM DPPH et maintenu dans l'obscurité pendant 10 minutes à température ambiante. Le spectre a ensuite été enregistré à l'aide d'un spectromètre EPR Bruker E-Scan (Bruker E-Scan, Bruker Bio) L'équation suivante a été utilisée pour calculer le DRSC d'extraits phénoliques de chia.

$$\text{Capacité de piégeage des radicaux DPPH (\%)} = \{100 - (\text{Intensité du signal EPR pour le contrôle} - \text{Intensité du signal EPR pour l'extrait})\} \times 100$$

L'activité de piégeage du DPPH de tous les extraits a été exprimée en micromoles TE par gramme de farine de graines dégraissée.

EPR : la résonance paramagnétique électronique

2.2.4.6 Pouvoir réducteur FRAP :

La capacité de réduction ferrique a été déterminée par la méthode FRAP. Ce test a été utilisée par **Marineli et al., (2014)** et **Scapin et al., (2016)**, avec quelques modifications dans les volumes des réactifs.

Dans l'étude de **Marineli et al., (2014)**, Le réactif FRAP a été préparé en utilisant 300 mmol/L de tampon acétate (pH 3,6), 10 mmol/L de 2,4,6-tris(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) dans une solution de HCl à 40 mmol/L et 20 mmol/L FeCl₃ dans un environnement sombre. Le réactif FRAP, l'eau ultrapure et les solutions d'échantillon ou d'étalon ont été incubés dans un bain-marie pendant 30 minutes à 37 °C. Les absorbances des échantillons et l'étalon ont été lus à 595 nm après refroidissement à température ambiante. La courbe standard de Trolox a été créée (5-600 μ mol TE). Les unités de mesure étaient les μ mol d'équivalent Trolox (ET)/g d'extrait.

Pour **Scapin et al., (2016)** et **Rodrigues et al.,(2018)** , Le réactif FRAP a été préparé de la même façon. Un volume de 200 µl d'échantillon pré-dilué et 1,8 ml de réactif FRAP ont été ajoutés à un tube à essai et maintenus dans un bain-marie à 37°C pendant 30 minutes. Après cela, un spectrophotomètre (Biospectro SP 220, So Paulo, Brésil) a été utilisé pour détecter l'absorbance du complexe coloré produit avec Fe^{2+} et TPTZ à 593 nm. Comme témoin, le réactif FRAP a été utilisé. Pour la courbe d'étalonnage ($Y = 0,0265x + 0,002$, $R^2 = 0,9968$), le composé trolox (gamme de 0 à 25 µM) a été utilisé comme étalon, et les résultats ont été représentés en équivalents milimol trolox par kilogramme d'échantillon sec (mmol /kg ET échantillon sec).

Rahman et al.,(2017) ont été combiné l'extrait phénolique de farine de chia (0,5 ml) avec 2,5 ml de solution PBS (0,2 M, pH 6,6) dans un tube à centrifuger, suivi de 2,5 ml de ferricyanure de potassium (1%, w/v) A 50°C, le mélange a été incubé pendant 20 minutes. Après cela, 2,5 ml de solution de TCA à 10 % ont été ajoutés et centrifugés pendant 10 minutes à 1750 g. Une aliquote de 2,5 ml du surnageant a été recueillie et mélangée avec 2,5 ml d'eau déminéralisée. Après cela, 0,5 ml d'une solution de $FeCl_3$ à 0,1 % (p/v) a été ajouté et l'absorbance du mélange réactionnel a été mesurée à 700 nm avec un spectrophotomètre. Trolox a été utilisé pour créer la courbe standard.

Le pouvoir réducteur des extraits a été calculé à l'aide de l'équation suivante

Le pouvoir réducteur = $\{ (\text{Absorbance Échantillon} - \text{Absorbance Control}) / \text{Absorbance Control} \} \times 100$

Les résultats ont été exprimés en micromoles d'équivalents trolox (TE) par gramme d'échantillon dégraissé.

Chapitre 3

Résultats et Discussion

2.3 Resultat et discussion

2.3.1 Composition approximative

L'analyse de la composition approximative des grains de *salvia hispanica* fournit la quantité ou la proportion de chacun des constituants purs qui la composent. Les résultats des différents articles sont montrés dans le tableau suivant (**Tableau 3**).

Tableau 3.Résultats de la composition approximative des graines de *salviahispanica*

Composants (%)	Barreto <i>et al.</i> , (2016)	Rodríguez <i>et al.</i> , (2021)	Mihafu <i>et al.</i> , (2019)
Cendres	4,7	4,7	3,67
Protéines	23,2	18,8	20,41
Glucides	6,3	21,8	8,67
Lipides	35,4	18,3	29,83
Fibres	30,4	35,1	31,15

Barreto *et al.*, (2016), **Rodríguez *et al.*, (2021)** et **Mihafu *et al.*, (2019)** ont rapporté des teneurs en cendres similaires comprises entre 3,67% et 4,7%, respectivement. De même, des valeurs proches pour les fibres et les protéines sont trouvés par les 3 références. Par contre, les glucides et les lipides ont montrés une différence entre les différentes études. **Barreto *et al.*, (2016)** ont rapporté la valeur la plus faible des glucides (6,3%) et la plus élevée des lipides (29,83%), des valeurs qui sont similaires à ceux trouvés par **Marineli *et al.*, (2019)**. Cette variation n'est pas surprenante car de nombreux facteurs peuvent affecter la composition nutritionnelle et la concentration en composés bioactifs, tels que les conditions climatiques, type de sol, zone géographique, pratiques agricoles et dans une certaine mesure les méthodes d'extraction **Foss *et al.*, (2014)** et **Ayerza *et al.*, (2009)**.

Les graines de chia possèdent une excellente valeur nutritionnelle car elles sont une bonne source de glucides, de graisses, de protéines, de cendres et de fibres alimentaires avec des teneurs de 41%, 30%, 23%, 4% et 18-30%, respectivement. Les aliments fonctionnels sont développés à partir de graines de chia par extraction de composés bioactifs **Coelho *et al.*,(2019)** .

Les graines de chia contiennent de grandes quantités de fibres et de lipides, ainsi que de nombreuses protéines de haute qualité, Grâce à leur teneur en fibres et en lipides, leur

consommation est intéressante pour réduire les accidents cardiovasculaires, réguler la tension artérielle, l'hypercholestérolémie et l'hypertension, Mais ce n'est pas tout ! Ces petites graines permettraient une meilleure régulation de la glycémie chez les diabétiques. Ces petites graines sont extrêmement riches en oméga-3 mais aussi en oméga-6. Leur bonne teneur en fibres permet de lutter efficacement contre la constipation. C'est également un vivier de protéines, de calcium, de potassium, d'acide folique et d'antioxydants.

2.3.2 Analyses des acides gras

Le **tableau 4** montre la composition en acides gras de l'huile de graines de chia, qui contient principalement des acides α -linoléique, linoléique, oléique, palmitique et stéarique. **Rodrigues *et al.*, (2018)** ont rapporté que la teneur de l'acide α -linoléique était plus élevée (62,98%) que les autres acides gras, suivie de l'acide linoléique (19,65%). Ces résultats sont en accord avec ceux rapportés par **Mihafu *et al.*, (2019)**, qui ont aussi montré l'acide α -linoléique (56,99%) et l'acide linoléique (18,30%) comme acides gras majeurs. De même, **Marineli *et al.*, (2018)**, ont signalé la prédominance de l'acide α -linoléique, et l'acide linoléique. Les données précédentes confirment, la richesse des graines chia en acides gras insaturés (> 88%), spécialement les acides gras polyinsaturés **Rodrigues *et al.*,(2018)** et **Marineli *et al.*, (2018)**.

Tableau 4. Profil d'acides gras des graines de chia

Acides gras (%)	Rodrigues <i>et al.</i> , (2018)	Mihafu <i>et al.</i> , (2019)	Marineli <i>et al.</i> , (2018)
Acide palmitique	6,98	6,21	7,07
Acide stéarique	3,06	4,26	3,36
Acide oléique	5,89	7,17	7,04
Acide linoléique	19,65	18,30	18,23
Acide alpha-linolénique	62,98	56,99	62,80
AGS	10,33	/	11,12
AGMI	6,87	/	7,29
AGPI	82,79	/	81,59

AGS : acide gras saturé, AGMI : acide gras mono-insaturé, AGPI : acide gras poly insaturé.

Nous avons remarqué que les graines de chia noir d'Ouganda avait une teneur élevée en acide alpha-linolénique (56,99%) par rapport aux graines chia blanches (49,12%), qui avait une humidité, des cendres, des fibres et du phosphore élevés par rapport aux autres graines de chia noir **Mihafu1 *et al.*, (2019)**. On peut suggérer donc que cette différence de valeurs peut être due aux conditions climatiques, et aux pratiques agricoles.

La présence de niveaux élevés d'acide α -linoléique explique en partie les effets bénéfiques des graines de chia sur la santé humaine, grâce à leurs propriétés anti-hyperglycémie, anti-hyperlipidémie, anti-hypercholestérolémie, anti-inflammatoires et anti-cancéreuses. Un faible rapport d'acides gras $\omega 6/\omega 3$ a également été associé à la réduction du risque de maladie cardiovasculaire **Deghima *et al.*, (2021)**.

Un rapport AGPI/AGS plus élevé peut aider à réduire le cholestérol sanguin, l'athérosclérose et à prévenir les maladies cardiaques. Des études et des lignes directrices recommandent une consommation régulière d'acides gras $\omega 3$ car ils sont liés à un risque moindre de maladies cardiovasculaires. Bien que toutes ces données liées à la fraction lipidique ne soient pas significatives sur le plan nutritionnel lorsque la plante entière est utilisée comme aliment, elles pourraient être prises en considération lorsqu'un extrait est utilisé dans d'autres produits **Deghima et al.,(2021)**.

2.3.3 Analyse des minéraux

Les minéraux forment une vaste famille d'éléments inorganiques que l'on trouve dans l'alimentation et qui sont, pour certains « essentiels ». Certains minéraux trouvés dans les graines de chia sont présentés dans le **Tableau 5**

D'après les études de détermination des minéraux de **Barrette et al., (2016)**, **Yi Ding et al., (2016)** et **Mihafu et al., (2019)**, le calcium et le potassium sont parmi les composés majeurs dans *salvia hispanica*, avec **Yi Ding et al., (2016)** rapportant la plus grande valeur. Comme pour le calcium, le fer, le zinc et le cuivre ont montré une variation dans les résultats, avec les résultats de **Yi Ding et al., (2016)** présentant la valeur la plus élevée pour le fer (131.12mg/100g), pour le zinc (88,69mg/100g) et pour le cuivre (26,67 mg/100g) par rapport aux résultats de **Barrette et al., (2016)** et **Mihafu et al., (2019)** ou les valeurs étaient très faibles.

Tableau 5. Teneurs des différents minéraux individuels de Graines de *Salvia*

Références minireaux	Barreto <i>et al.</i>, (2016) (mg/100g)	Yi Ding <i>et al.</i>, (2016) (mg/100g)	Mihafu <i>et al.</i>, (2019) (mg/100g)
Ca	530,9	4221,89	304,05
Na	73,4	11,55	N.d
Fe	8,9	131,12	3,63
P	776,4	N.d	493,5
Zn	5,9	88,69	2,78
K	611,6	13.477,61	649,43
Cu	2,1	26,67	0,81
Ni	N.d	4,09	N.d
Se	N. d	45,33	N. d

Les valeurs du phosphore et sodium étaient élevées dans l'étude de **Barreto *et al.*, (2016)** (P : 776,4 mg/100g et Na : 73,4mg/100g) par rapport aux résultats de **Yi Ding *et al.*, (2016)** et **Mihafu *et al.*, (2019)**. **Mihafu *et al.*, (2019)** n'a pas analysé la teneur en Na, alors que **Yi Ding *et al.*, (2016)** n'a analysé que le P, le sélénium et le nickel qui ont été analysés seulement dans l'étude de **Yi Ding *et al.*, (2016)**. **Dutra *et al.*, (2015)** ont trouvé des valeurs proches pour le phosphore (659mg/100g) et pour le calcium (525mg/100g).

Les graines de Chia peuvent être un véritable soutien, en plus d'une hygiène de vie correcte pour l'être humain. Les minéraux sont nécessaires en tant que nutriments essentiels par les organismes, y compris l'homme, pour mener à bien les fonctions nécessaires à la vie et à la santé **Awuchi *et al.*, (2019)**. Le calcium est nécessaire au fonctionnement squelettique et neuronal, ainsi qu'au métabolisme **Olsen *et al.*, (1996)**. Le K et le Na sont importants pour l'équilibre eau/électrolyte et plusieurs autres fonctions métaboliques. Le Zn joue un rôle important dans les systèmes immunitaires et antioxydants cellulaires, tandis que Fe est important pour la formation d'hémoglobine et le transport de l'oxygène **Deghima *et al.*, (2021)**. Le calcium, le phosphore et le magnésium sont importants pour la formation des os. Les graines de chia et surtout chia noire peuvent être une bonne source de minéraux responsables du maintien de la santé des os **Mihafu *et al.*, (2019)**.

2.3.4 Rendement d'extraction :

Le tableau 6 contient le rendement d'extraction rapportée dans l'étude de **Rodrigues et al.,(2018)**

Tableau 6.Rendement et solvant d'extraction de Graines de *Salvia hispanica*

Reference	Solvant	Rendement
Marineli et al., (2014)	Ethanol	n.d
Saphier et al.,(2017)	Mélange de solvants (éthanol et eau)	n.d
Martínez-Cruz et Paredes-López, (2013)	Méthanol a 70 % Méthanol et eau 70:30 v/v	n.d
Rodrigues et al., (2018)	Hexane Chloroforme, methanol et eau	16, 08 % 28, 26 %

n.d : non donné

Les rendements de **Marineli et al., (2014)**, **Saphier et al.,(2017)**, **Martinez-Cruz et Paredes-López, (2013)** n'ont pas été précisés, à l'exception de **Rodrigues et al., (2018)** qui ont rapporté que le rendement d'extrait d'hexane est 16, 08 % et celui du mélange chloroforme-méthanol-eau était de 28, 26 %. D'après les articles consultés on peut supposer que le rendement est dépendant de plusieurs facteurs à savoir la méthode d'extraction, le temps d'extraction, la température, le solvant d'extraction ainsi que son volume.

2.3.5 Teneur en polyphénols et flavonoïdes totaux

Par l'utilisation de la méthode Folin-Ciocalteu par les auteurs des articles analysés, la teneur en polyphénols et en flavonoïde des graines de *salvia hispanica* (Graines de chia), obtenus sont mentionnés dans le tableau suivant (**Tableau 7**) :

Tableau 7. Teneur des polyphénols et flavonoïdes totaux des différents extraits de *salvia hispanica*

Reference	Solvant	Polyphénols totaux(TPC) (g/kg GAE)	Flavonoïdes totaux(TFC) (g/kg EQ)
Saphier et al.,(2017)	Eau	0,572	N,d
	Eau / Ethanol (80:20)	1,01	
	Eau / Ethanol (50:50)	1,99	
	Eau / Ethanol (20:80)	1,49	
	Ethanol	0, 339	
Scapin et al.,(2015)	Ethanol80%, 60°C (1)	2,639	0,162
	Ethanol 50%, 60°C (2)	0,860	0,055
	Ethanol 80%, 40°C (3)	2,187	0,122
	Ethanol 50%, 40°C (4)	1,775	0,110
	Ethanol 50%, 65°C (5)	2,264	0,153
	Ethanol 50%, 65°C (6)	2,279	0,159
	Ethanol 50%, 65°C (7)	2,320	0,142
Rahman et al., (2017)	Méthanol	14,22	8,45

D'après **Saphier et al.,(2017)** la teneur totale en polyphénol des grains de chia extraite par l'eau pure (0,572 g/kg GAE) était plus élevée que celle extraite par éthanol pure (0, 339 g/kg GAE), mais ces résultats sont inférieurs à celle obtenues par le mélange eau-éthanol, où la teneur obtenue par le mélange eau /éthanol (80:20) (1,01g/kg GAE) était inférieure à celle extraite par eau / éthanol (20:80) (1,49g/kg GAE) et eau / éthanol (50:50) (1,99 g/kg GAE) où cette dernière présente le meilleur résultat. Ces résultats peuvent être expliqués par la polarité

du solvant où l'extraction des polyphénols est augmentée en fonction de la polarité du mélange de solvants. Il est probable que l'éthanol ait un rôle important dans la dissolution de la membrane cellulaire et la libération du contenu cellulaire dans la solution contrairement à l'eau pure qui ne permet guère la libération des polyphénols des graines en poudre. L'eau est un composant important de la solution pour sa contribution à l'augmentation de l'indice de polarité de la solution qui permet une meilleure dissolution des polyphénols **Saphier et al.,(2017)**.

Pour **Scapin et al., (2015)**, les extraits 1, 3 et les extraits 5, 6 et 7, n'ont montré aucune différence statistique entre eux et entre les autres groupes. Cependant, l'extrait 1(2,6g/kg GAE) a montré la teneur la plus élevée en composés phénolique totale montrant que des concentrations phénoliques majeures ont été obtenues pour des extractions effectuées à une concentration élevée en éthanol et à des températures plus élevées (60°C, éthanol 80%). En revanche, l'extrait 2 a présenté une valeur en composés phénoliques plus faible (60°C, éthanol 50%). On peut voir dans **Saphier et al.,(2017)**, qui ont étudiés l'effet des solvants sur l'extraction, que leurs résultats sont proches de celles de **Scapin et al., (2015)** en fonction de la température, et ces résultats sont plus faibles par rapport aux résultats rapportés par **Rahman et al., (2017)**. Comme pour les composés phénoliques, l'extraction des flavonoïdes totaux montre que l'utilisation de températures plus élevées et de concentrations plus élevées d'éthanol sont plus efficace dans l'extraction de ces composés mais ces résultats sont plus bas par rapport aux résultats de **Rahman et al., (2017)**, et cela peut être expliqué parle traitement thermique qui entraîne la dégradation des flavonoïdes dans les légumes, c'est pour ça on observe la diminution de la teneur en flavonoïdes. Des résultats similaires ont été trouvés par **Spagolla et al., (2009)** et **Lin et Tang, (2011)**.

Dans l'étude de **Rahman et al., (2017)**, la teneur en polyphénols totaux était $14,22 \pm 0,44$ mg GAE/ g d'échantillon. Cette valeur est divisée entre les composés phénoliques libres ($8,69 \pm 0,53$ g/kg GAE), estérifiées ($0,95 \pm 0,07$ g/kg GAE) et insolubles ($4,59 \pm 0,16$ g/kg GAE). La fraction phénolique libre a apporté la contribution la plus élevée, suivie respectivement de la fraction insoluble et de la fraction estérifiée. De manière similaire, les flavonoïdes ont été répartie entre les fractions libres, estérifiées et insolubles de la farine de chia. Selon le (**Tableau 7**) on observe que la teneur en polyphénols et flavonoïdes totaux de **Rahman et al., (2017)** obtenu par le solvant méthanolique sont les plus haute par rapport à la teneur de **Scapin et al., (2015)** et **Saphier et al., (2017)**, et Cela est dû probablement à la polarité de solvant qui a une grande influence sur la teneur en polyphénols et en flavonoïdes.

2.3.6 Analyse chromatographique

Les principaux composés phénoliques identifiés et quantifiés dans les extraits de chia par HPLC sont dans le tableau suivant (**Tableau 8**) :

Tableau 8.Acides phénoliques dans les échantillons de chia (*Salvia hispanica*)

Références Composés	Rahman <i>et al.</i> , (2017)	Rodríguez <i>et al.</i> , (2021) Mg/g	Martinez-Cruz et Paredes- lopez,(2014) Mg/g
Acide protocatéchuique	+	/	0,747
Acide génistéine	+	/	0,005
Acide caféique	+	/	0,027
Acide trans-caféique	+	/	/
Acide gallique	/	/	0,0115
Aciderosmarinique	+	1,2	0,926
Aaciderosmarinique glucoside	/	3,9	/
Acide férulique	/	/	+
Acide trans-férulique	+	/	/
Acide daidzin	+	/	0,006

Rahman *et al.*, (2017), ont détecté que l'acide protocatéchuique, l'acide *p*-hydroxybenzoïque, le *cis-p*-coumarique, la quercétine-hexoside, la dihydrodihydroxy-isorhamnétine et le dimère de procyanidine B 1 n'ont été détectés que sous forme libre, tandis que l'acide hydroxy-coumarique, la quercétine, la rutine et le dimère de procyanidine B3 n'ont

été trouvés que dans la forme estérifiée. La génistéine et le dimère de procyanidine A n'ont été identifiés que dans la forme liée insoluble de chia.

Selon les résultats du (**Tableau 8**) ,**Rodríguez et al., (2021)** ont identifiées de faible concentrations des polyphénols suivant: acide vanillique glucoside, acide salvianique, dihydroxybenzoyl glucoside et acide dihydroxy-phénylacétique. Ces données montrent précisément que l'acide rosmarinique est l'un des composés les plus abondants dans les graines de chia noir. L'acide rosmarinique est un dérivé de l'acide caféique et a été signalé comme l'un des principaux composés phénoliques présents dans les graines de chia. **Martínez-Cruz et Paredes-Lopez, (2014)** ont rapporté (0,92 mg/g) de l'acide rosmarinique et les données **Rodríguez et al., (2021)** ont montré une concentration de 3,9 mg/g, spécifiquement de glucoside d'acide rosmarinique et 1,2 mg/g d'acide rosmarinique. La présence de cet acide est de la plus haute importance, car il est impliqué dans les activités biologiques car il possède des propriétés antioxydantes, astringentes, anti-inflammatoires, anti-thrombotiques, antis mutagènes, antibactériennes et antivirales. L'acide protocatéchuique était le deuxième composé majeur quantifié chez *S. hispanica* avec une concentration de 0,7471 mg/g de graines **Martínez-Cruz et Paredes-Lopez,(2014)**. Ce composé a été détecté dans *Salvia castanea*, *Salvia pauciflora*, *Salvia pratti*, *Salvia trijuga* et *Salvia chienii*, mais uniquement à l'état de traces dans les parties aériennes et les racines. L'acide protocatéchuique peut agir comme un antioxydant puissant avec des effets antitumoraux, comme inducteur de l'apoptose dans les cellules leucémiques humaines, et aussi comme protecteur contre les dommages oxydatifs dans les hépatocytes de rat. De plus, il a été rapporté que l'acide protocatéchuique inhibe la progression des cellules cancéreuses par plusieurs mécanismes : répression de la migration, diminution de la dégradation de la matrice et inhibition des métastases.

La concentration d'acide caféique était de 0,0274 mg/g dans l'étude de **Martínez-Cruz et Paredes-Lopez, (2014)**. Ce composé, agit comme antioxydant et inhibiteur d'enzymes, et il a également une activité de liaison avec des récepteurs spécifiques. De plus, il a été rapporté que l'acide caféique inhibe l'oxydation des LDL (lipoprotéines de basse densité) *in vitro* et pourrait donc protéger contre les maladies cardiovasculaires.

Dans la même étude la concentration d'acide gallique dans les graines de chia était de 0,0115 mg/g d'échantillon (**Tableau 8**) ; cette valeur se situe dans la plage rapportée pour les feuilles de thé (0,0074–0,0333 mg/g) décrite par **Wang et al.,(2000)**. L'acide gallique et ses

dérivés sont largement répandus dans le règne végétal, et ils représentent une vaste famille de polyphénols qui agissent comme des antioxydants naturels **Martinez-Cruz et Paredes-Lopez,(2014)**. L'acide gallique a une cytotoxicité sélective contre une variété de cellules tumorales. Ces composés pourraient être utilisés comme médicaments anticancéreux ou comme base moléculaire pour le développement de nouveaux médicaments par des modifications chimiques ciblées **Martinez-Cruz et Paredes-Lopez,(2014)**.

Daidzin a été trouvé dans les graines chia à une concentration de 0,0066 mg/g d'échantillon en moyenne. Les isoflavones sont des composés anticancérigènes bien connus avec une variété d'utilisations dans la prévention des maladies cardiovasculaires. Les symptômes de la ménopause, l'ostéoporose postménopause et d'autres maladies liées aux œstrogènes sont généralement traités avec des isoflavones **Martinez-Cruz et Paredes-Lopez,(2014)**.

2.3.7 Activité antioxydante

Plusieurs concentrations des extraits de chia ont été utilisées pour tester leur activité antioxydants par deux méthodes : Le test DPPH et FRAP qui ont été réalisées par **Scapin et al.,(2016)**, **Martinez-Cruz et Paredes-lopez, (2014)** , **Marineli et al.,(2014)**, **Rahman et al.,(2017)** et les différents résultats sont dans le **Tableau 9**.

Tableau 9.Activité antioxydante des graines chia évalué par les tests FRAP et DPPH

Référence	Extrait	DPP	
		H	P
Scapin et al.,(2016) DPPH :IC50 en (mg/ml) FRAP : mmol TE /kg	1)60°C, éthanol80%	3,84	45
		8,23	18
	2)60 °C, éthanol 50%	4,1	36,03
	3)40 °C, éthanol 80%	4,94	28,02
	4)40 °C, éthanol 50%	3,9	30
	5)50 °C, éthanol 65%	4,36	32,06
Martinez-Cruz et Paredes-lopez,(2014) (%inhibition)	/	68,83	/
Marineli et al.,(2014) (µmol TE/g)	/	436,61	405,71
Rahman et al.,(2017) (µmol TE/g)	/	9,98	120,42

2.3.8 Piégeage du radical libre DPPH :

Pour **Scapin et al., (2016)**, bien qu'il n'y ait pas eu de différence statistique ($p > 0,05$) entre les extraits 1, 3, 5 et 6, l'extrait 1 avait une meilleure activité antioxydante et une valeur IC₅₀ inférieure (3,84 mg/mL). De plus, l'extrait 2 avait une valeur IC₅₀ considérablement plus élevée (8,23 mg/mL) que les autres. Donc on remarque que la valeur IC₅₀ s'est avérée être influencée inversement par la relation entre la concentration d'éthanol et la température, ce qui signifie que plus les concentrations et les températures d'éthanol sont élevées, plus la valeur IC₅₀ est faible et plus l'activité antioxydante est élevée.

L'activité de piégeage des radicaux DPPH des graines de chia a montré un pourcentage d'inhibition de 68,83 % trouvée par **Martinez-Cruz et Paredes-lopez, (2014)**. Les extraits phénoliques de *S. hispanica* ont montré une activité antioxydante plus élevée que les autres espèces de *Salvia* tel que *Salvia caespitosa* (41,3 %) ; *Salvia hypargeia*(34,6 %) ; *Salvia euphratica* subsp. Euphratique (20,7%) et *Salvia sclarée* (23,4%). Cette différence d'activité antioxydante peut être due à la composition chimique des graines ou à de petites différences dans les voies biochimiques. Par conséquent, la présence de substances phénoliques telles que les acides phénoliques, les isoflavones et les anthocyanes pourrait expliquer la forte capacité antioxydante trouvée. De plus, l'extrait de chia peut contenir des antioxydants qui sont à la fois solubles dans l'eau et dans les lipides et capables de neutraliser les radicaux libres dans les deux phases. En conséquence, les antioxydants naturels peuvent être plus efficaces que les antioxydants alimentaires simples pour réduire les espèces réactives d'oxygène.

La valeur de DPPH de la graine de chia canadienne pour **Rahman et al., (2017)** (9,98 μ mol TE/g d'échantillon), était bien inférieures à celles de la graine de chia brésilienne (436,61 μ molTE/g) comme indiqué par **Marineli et al., (2014)**. Cette grande différence de valeurs pourrait être attribués aux différences de génotype ainsi qu'aux effets environnementaux.

2.3.9 Pouvoir réducteur (FRAP)

Les extraits 1 et 2 différaient significativement des autres extraits et étaient en corrélation avec les valeurs maximales et minimales de FRAP (respectivement 45 et 18 mmol ET/kg d'échantillon sec) rapportées pour les extraits de graines de chia. Les autres extraits, en revanche, ne présentaient pas de différences significatives **Scapin et al., (2016)**. Ces valeurs montrent que l'interaction entre la concentration d'éthanol et la température peut affecter positivement la variable FRAP. La capacité antioxydante de réduction du fer (FRAP) des extraits dépend du solvant utilisé et de sa polarité, selon une étude d'**Alothman et al., (2009)**. Selon la méthode FRAP, l'extrait qui avait des quantités plus élevées d'éthanol, avait de meilleures propriétés antioxydantes.

Le pouvoir réducteur de la farine de graines de chia canadienne selon **Rahman et al., (2017)** était de 120,42 μ mole TE/g d'échantillon, ce qui est bien inférieur à la valeur FRAP (405,71 μ mole TE/g) de la graine de chia brésilienne **Marineli et al., (2014)**. Cette différence était en raison des différences existantes dans le génotype et d'autres facteurs environnementaux.

L'expression des résultats des différentes études en différentes unité a rendu la comparaison des résultats difficile. Mais les différentes études s'accordent sur l'excellente activité antioxydants des graines de Chia.

Conclusion

Conclusion

Ce travail est une recherche approfondie sur les différentes caractéristiques des graines de chia, leurs usages, leurs applications et leurs propriétés nutritionnelle et pharmacologiques.

L'analyse approximative des grains de chia a révélé l'existence d'une teneur élevée en matières grasses, en protéines et en fibres et l'analyse de profil d'acide gras a montré que l'acide α -linoléique et les acides gras poly insaturés sont les acides gras majoritaires des grains de chia. Pour les minéraux l'analyse a montré une grande richesse en calcium, potassium et phosphore. L'évaluation du contenu des polyphénols révèle une teneur entre 0,339 et 14,22 mg GAE/g, alors que la constatation des flavonoïdes varie entre 0,055 et 8,45 mg EQ/g avec le méthanol comme meilleur solvant extracteur. L'analyse HPLC a révélé que ces polyphénols sont principalement l'acide protocatéchique, caféique, et rosmarinique.

L'activité antioxydante *in vitro* de *Salvia hispanica* reflète un potentiel antioxydant important. Les résultats obtenus diffèrent d'un test à un autre et d'un extrait à un autre, avec le meilleur résultat obtenu avec l'extrait à une concentration d'éthanol de 80% et température de 60°C. Les études montrent une relation entre le contenu de composés phénoliques, de flavonoïdes et la capacité antioxydante *in vitro*, montrant que ces composés sont le principal responsable du potentiel antioxydant de extraits de graines de chia.

Références

Bibliographiques

A

Abdelhalim, Abeer, et Jane Hanrahan. (2021). Biologically Active Compounds from Lamiaceae Family: Central Nervous System Effects. In *Studies in Natural Products Chemistry*, 68, 255-315. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819485-0.00017-7>.

Ahmed, M. H., Vasas, D., Hassan, A., & Molnár, J. (2022). The impact of functional food in prevention of malnutrition. *PharmaNutrition*, 100288.

Akinfenwa, Akeem Omolaja, Ahmad Cheikhoussef, Natascha Cheikhoussef, et Ahmed A. Hussein. (2020). Cold Pressed Chia (*Salvia Hispanica* L.) Seed Oil. In *Cold Pressed Oils*, 181-190. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818188-1.00015-3>

Ayerza(h) R, Coates W. Influence of environment on growing period and yield, protein, oil and α -linolenic content of three chia (*Salvia hispanica* L.) selections. *Ind Crops Prod* 2009; 30: 321-4. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.03.009>

B

Barreto, A. D., Gutierrez, É. M. R., Silva, M. R., Silva, F. O., Couto, N. O., Lacerda, I. C. A., ... & Carreira, R. L. (2016). Characterization and Bioaccessibility of Minerals in Seeds of *Salvia hispanica* L. *American Journal of Plant Sciences*.

Busilacchi, Héctor, Mirta Quiroga, Mirian Bueno, et Osvaldo Di Sapio. (2013). EN EL SUR DE SANTA FE (REPÚBLICA ARGENTINA), 34(4), 6.

D

da Silva Marineli, R., Moraes, É. A., Lenquiste, S. A., Godoy, A. T., Eberlin, M. N., & Maróstica Jr, M. R. (2014). Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 59(2), 1304-1310.

Deghima, A., Ansorena, D., Calvo, M. I., Astiasarán, I., & Bedjou, F. (2021). Nutritional constituents and effect of in vitro digestion on polyphenols and antioxidant activity of the large-leaved buttercup (*Ranunculus macrophyllus* Desf.). *Food Bioscience*, 40, 100904

Ding, Y., Lin, H. W., Lin, Y. L., Yang, D. J., Yu, Y. S., Chen, J. W., ... & Chen, Y. C. (2018). Nutritional composition in the chia seed and its processing properties on restructured ham-like products. *Journal of food and drug analysis*, 26(1), 124-134.

Din, Z. U., Alam, M., Ullah, H., Shi, D., Xu, B., Li, H., & Xiao, C. (2021). Nutritional, phytochemical and therapeutic potential of chia seed (*Salvia hispanica* L.). A mini-review. *Food Hydrocolloids for Health*, 1, 100010.

Di Sapio B. O., Busilacchi M. H., Quiroga M., Severin C. (2012). Caracterización morfoanatómica de hoja, tallo, fruto y semilla de *Salvia hispanica* L. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 11(3), 249-268.

G

Godswill, A. G., Somtochukwu, I. V., Ikechukwu, A. O., & Kate, E. C. (2020). Health benefits of micronutrients (vitamins and minerals) and their associated deficiency diseases: A systematic review. *International Journal of Food Sciences*, 3(1), 1-32.

H

Hernández, MUCILAGE FROM CHIA SEEDS (*Salvia hispanica*): MICROESTRUCTURE, PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERIZATION AND APPLICATIONS IN FOOD INDUSTRY, 2012.

J

Jamboonsri, Watchareewan, Timothy D. Phillips, Robert L. Geneve, Joseph P. Cahill, et David F. Hildebrand. (2012). Extending the Range of an Ancient Crop, *Salvia Hispanica* L.— a New Ω 3 Source . *Genetic Resources and Crop Evolution*, 59 (2), 171-178. <https://doi.org/10.1007/s10722-011-9673-x>.

K

Knez Hrnčič, M., Ivanovski, M., Cör, D., & Knez, Ž. (2019). Chia Seeds (*Salvia hispanica* L.): an overview—phytochemical profile, isolation methods, and application. *Molecules*, 25(1), 11.

Kulczyński, B., Kobus-Cisowska, J., Taczanowski, M., Kmiecik, D., & Gramza-Michałowska, A. (2019). The chemical composition and nutritional value of chia seeds—Current state of knowledge. *Nutrients*, 11(6), 1242.

L

López, Andrés Xingú, Andrés González Huerta, et Orozco de Rosas. (2017). Chía (*Salvia hispanica* L.) situación actual y tendencias futuras* Chia (*Salvia hispanica* L.) current situation and future trends , 14.

M

Martínez-Cruz, O., & Paredes-López, O. (2014). Phytochemical profile and nutraceutical potential of chia seeds (*Salvia hispanica* L.) by ultra high performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1346, 43-48.

Mihafu, F. D., Kiage, B. N., Okoth, J. K., & Nyerere, A. K. (2020). Nutritional Composition and Qualitative Phytochemical Analysis of Chia Seeds (*Salvia hispanica* L.) Grown in East Africa. *Current Nutrition & Food Science*, 16(6), 988-995.

O

AOAC. Official Methods of Analysis of AOAC. In: Official Methods of Analysis of AOAC International, 2005

R

Rahman, M. J., de Camargo, A. C., & Shahidi, F. (2017). Phenolic and polyphenolic profiles of chia seeds and their in vitro biological activities. *Journal of Functional Foods*, 35, 622-634.

Rodríguez Lara, A., Mesa-García, M. D., Medina, K. A. D., Quirantes Piné, R., Casuso, R. A., Segura Carretero, A., & Huertas, J. R. (2021). Assessment of the Phytochemical and Nutritional Composition of Dark Chia Seed (*Salvia hispanica* L.). *Foods*, 10(12), 3001

Rodrigues, C. F., Salgueiro, W., Bianchini, M., Veit, J. C., Puntel, R. L., Emanuelli, T., ... & Ávila, D. S. (2018). *Salvia hispanica* L.(chia) seeds oil extracts reduce lipid accumulation and produce stress resistance in *Caenorhabditis elegans*. *Nutrition & metabolism*, 15(1), 1-9.

S

Saphier, O., Silberstein, T., Kamer, H., Ben-Abu, Y., & Tavor, D. (2017). Chia seeds are richer in polyphenols compared to flax seeds. *Integrative Food, Nutrition and Metabolism*, 4(3), 1-4.

Scapin, G., Schmidt, M. M., Prestes, R. C., & Rosa, C. S. (2016). Phenolics compounds, flavonoids and antioxidant activity of chia seed extracts (*Salvia hispanica*) obtained by different extraction conditions. *International Food Research Journal*, 23(6).

Sosa, A., Ruiz, G., Rana, J., Gordillo, G., West, H., Sharma, M., ... & Torre, R. R. R. (2016). Chia crop (*Salvia hispanica* L.): its history and importance as a source of polyunsaturated fatty acids omega-3 around the world: a review. *J Crop Res Fert*, 1, 1-9.

T

Thangaraj, P. (2016). Proximate composition analysis. In *Pharmacological assays of plant-based natural products* (pp. 21-31). Springer, Cham.

U

Ullah, R., Nadeem, M., Khalique, A., Imran, M., Mehmood, S., Javid, A., & Hussain, J. (2016). Nutritional and therapeutic perspectives of Chia (*Salvia hispanica* L.): a review. *Journal of food science and technology*, 53(4), 1750-1758.

V

Valdivia-López, Ma. Ángeles, & Alberto Tecante. (2015). Chia (*Salvia Hispanica*) . In *Advances in Food and Nutrition Research*, 75, 53-75. Elsevier.
<https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2015.06.002>

W

Wang, H., Helliwell, K., & You, X. (2000). Isocratic elution system for the determination of catechins, caffeine and gallic acid in green tea using HPLC. *Food Chemistry*, 68(1), 115-121.

Z

Zettel, V., & Hitzmann, B. (2018). Applications of chia (*Salvia hispanica* L.) in food products. *Trends in Food Science & Technology*, 80, 43-50.

ملخص

سالفيا ايسبانكا هو نبات عشبي سنوي له خصائص طهي وطبية يتم توزيعه واستخدامه على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم. الهدف من هذا البحث هو مراجعة وتجميع المعلومات الحالية والمنشورة حول التركيب الغذائي والأنشطة البيولوجية لبذور الشيا. كشفت دراسة تركيب بذور الشيا عن وجود البروتينات والكربوهيدرات والألياف الغذائية والدهون والمعادن بالإضافة إلى وجود مستقبلات ثانوية مثل الفالونويد و البوليفينول ، والتي أجريت في المختبر تبين أن بذور الشيا تمتلك أنشطة بيولوجية قوية مثل النشاط المضاد لألكسدة بسبب الكميات العالية من المواد الكيميائية النباتية الموجودة ، مما يحسن صحة الفرد ، وفي الختام ، كشفت هذه الأبحاث عن عالجات غذائية وصيدلانية واعدة من نبات سالفيا ايسبانكا. الكلمات المفتاحية سالفيا ايسبانكا ، بذور الشيا ، التركيبة الغذائية ، الأنشطة البيولوجية.

Résumé

Salviahispanica est une plante herbacée annuelle aux caractéristiques culinaires et médicinales qui est largement distribuée et utilisée dans le monde entier. L'objectif de cette recherche est d'examiner et de compiler en profondeur les informations existantes et publiées sur la composition nutritionnelle et les activités biologiques de la graine de chia.

L'étude de la composition des graines de chia a permis de mettre en évidence la présence des protéines, des glucides, des fibres alimentaires, la matièregrasse et les minéraux. Ainsi que la présence des métabolites secondaires comme les flavonoïdes et Les polyphénols. Les travaux menés in vitro montrent que les graines de chia possèdent des activités biologiques puissantes comme l'activité antioxydante grâce à la haute quantité de composés phytochimiques trouvés, ce qui améliore la santé d'un individu. En conclusion, ces recherches ont révélé des propriétés alimentaires, pharmacologiques et thérapeutiques très prometteuses de *Salviahispanica*.

Mots clés : *Salviahispanica*, graines de chia, composition nutritionnelle, activités biologiques.

Abstract

Salviahispanica is an annual herbaceous plant with culinary and medicinal characteristics that is widely distributed and used throughout the world. The objective of this research is to thoroughly review and compile existing and published information on the nutritional composition and biological activities of chia seed.

The study of the composition of chia seeds has revealed the presence of proteins, carbohydrates, dietary fibers, fat and minerals. As well as the presence of secondary metabolites such as flavonoids and polyphenols. conducted in vitro show that chia seeds possess potent biological activities like antioxidant activity due to the high amount of phytochemicals found, which improves the health of an individual. In conclusion, these researches revealed dietary, pharmacological and promising therapies of *Salviahispanica*.

Keyword s: *Salviahispanica*, chia seeds, nutritional composition, biological activities.