

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Université M'Hamed BOUGARA Boumerdes



Faculté des sciences
Département de biologie



Mémoire en vue de l'obtention de Diplôme de Master
Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie
Filière : Sciences Biologiques
Spécialité : Biochimie Appliquée

***Caractérisations biochimiques de la poudre et l'huile
de graines de Chia (Salvia hispanica) du Bresil
et du Mexique.***

Présenté par :

**BOUGUERROUMI Sabrinal
MERMAT Imene**

Devant le jury composé de :

Mme. CHAABANE. I	MAA/UMBB	Présidente
Mme. HALLADJ. F	MCB/UMBB	Examinatrice
Mr. DJIZIRI. M	MCA.MRA/UMBB/CRAPC	Promoteur
Mr. BOUDJEMAA. K	MCA/UMBB	Co-promoteur
Mme. BOUGHERARA. S	MCA/UMBB	Invitée

Année universitaire : 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Au Nom de Dieu, Le Clément, Le Miséricordieux

Remerciements

Avant toute chose, Nous tenons à remercier **DIEU** le tout puissant, de nous avoir donné la force, la patience et le courage pour réaliser ce travail.

*Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de **Dr DJEZIRI MOURAD**, Nous le remercions pour sa qualité d'encadrement exceptionnelle, pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité durant la préparation de ce mémoire.*

*Notre profonde gratitude à **Dr CHAABANE. A** d'avoir pris la peine de présider le jury ; Un vif remerciement au **Dr HALLADJ .F** d'avoir examiné ce travail qu'elle trouve ici notre parfaite gratitude.*

*Aux enseignants (es) de la faculté des sciences de **M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES**, et chef département de biochimie et au Co-promoteur **Dr BOUDJEMAA KHALED**, et le département de la Biologie à qui nous leur devons un profond respect pour le savoir qu'ils nous ont transmis tout au long de notre carrière.*

*Un très grand merci à **Dr BOUGHERARA SALIHA** pour tous ses efforts dévoués et son soutien constant pour nous.*

*Un remerciement spécial pour le jeune **DIFFALAH Merouane** pour son aide précieuse Nos remerciements à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire en particulier : Les laborantins et laborantines du département de génie des procédés et les chimistes de l'entreprise Univers Détergent*

*Puis un très grand merci aux étudiants de notre section du **Master 2 en BIOCHIMIE (2021-2022)**.*

Enfin nos remerciements s'adressent plus particulièrement à nos familles, amis et toutes personnes qui ont participé de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

*Aux vrais soldats de ma réussite, qui ont sacrifié du temps, de l'énergie et du confort pour que je devienne la personne bien faite que je suis aujourd'hui. Aux seuls pour qui je travaille dur pour les rendre fiers ; à vous mes chers parents **(MERMAT Mourad et BOUGHERARA Zohra)**, Vos prières et votre bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

*A mes chères sœurs **férial et Malek** qui m'ont toujours encouragé.
A ma grande famille ; mes tantes, mes oncles et mes cousins et cousines qui n'ont cessé de croire en moi et de m'octroyer leur soutien et leur encouragement et à l'âme de **mes grands-parents**.*

*A ma chère Amie et sœur aussi **Khadîdja.K**
A toutes mes Amies, spécialement ma belle **Meriem**,
Et Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.*

*Sans oublier mes braves amies de la promotion master 2
Biochimie Appliqué.*

*Un grand merci à ma chère Amie, mon binôme dans ce mémoire de recherche, **Sabrinal**, je souhaite que nous arrivions à réaliser nos rêves...*

IMENE

Dédicace

*Aux vrais soldats de ma réussite, qui ont sacrifié du temps, de l'énergie et du confort pour que je devienne la personne bien faite que je suis aujourd'hui. Aux seuls pour qui je travaille dur pour les rendre fiers ; à vous mes chers parents, **BOUGUERROUMI Ali** et **HASNAOUI Khadoudja** Vos prières et votre bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études.*

*A mes très chères sœurs **Hanene**, **Samiha** et leur époux, et enfants.*

*A mes chers frères **Yakoub**, **Abd elbasset** et son épouse **Imene** et son fil **Haithem**.*

A ma grande famille; mes tantes, mes oncles et mes cousins et cousines qui n'ont cessé de croire en moi et de m'octroyer leur soutien et leur encouragement et à l'âme de mes grands-parents.

*A toutes mes Amies, spécialement mes belles **Soumaia**, **feriele**, et **saffa***

Et Tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin.

Sans oublier mes braves amies de la promotion master 2

Biochimie Appliqué.

*Un grand merci à ma chère Amie, ma binôme dans ce mémoire de recherche, **Imene**, je souhaite que nous arrivions à réaliser nos rêves...*

SABRINAL

Liste des abréviations

ABTS : 2,2'-Azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6-Sulfonique)
A : Absorbance
A : Acidité
AG : Acide Gras
AGE : Acide Gras Essentielle
AGI : Acide Gras Insaturé
AGMI : Acide Gras Mono Insaturé
AGPI : Acide Gras Poly Insaturé
AGS : Acide Gras Saturé
ALA : Acide α - linolénique
ALT : Alanine aminotransférase
AST : Aspartate aminotransférase
ATG/DSC : Analyse thermogravimétrie couplée à calorimétrie Différentielle à Balayage
BHT : hydroxytoluène buthylé
C.A : Codex Alimentarius
CAT : Catalase
CE : Communauté Européenne
CEE: Communauté Economique Européenne
CI50 : La concentration inhibitrice médiane
CG : Corps Gra
COI: Conseil Oléicole International
CPG : Chromatographie en Phase Gazeuse
CPT : carnitine O-palmityltransférase
DO: Densité Optique.
DPPH: Di-Phenyl-Picryl-Hydrazyl
DRX : diffraction aux rayons X
d20 : Densité relative à 20°C
EAA: Equivalent
ECA : Enzyme de conversion de l'angiotensine I
EEC : Extraits éthanoliques de graines de chia
Eqg: Equivalent gramme

FRX : fluorescence par rayon X

H% : Humidité en pourcentage

H₂O : monoxyde de dihydrogène (eau)

H₂O₂: Peroxyde d'hydrogène

H₃O⁺ : Ion d'hydronium

HCL : Acide chlorhydrique

HDL-c : Cholestérol à Lipoprotéine de haute densité

HGC : Huile de graines de chia

IA : indice d'acide

Ii : Indice d'iode

IRTF : Infrarouge a transformée de fourier

IP : Indice de peroxyde

IS : indice de saponification

IL : Interleukine

GC-MS: Gas Chromatography-Mass Spectroscopy

GPx : Glutathion peroxydase

GR : globule rouge

GRD : Glutathion réductase

GSH : Glutathion

K232 : Coefficient d'extinction spécifique à 232nm

K270 : Coefficient d'extinction spécifique à 270nm

K₂S₂O₈ : Peroxodisulfate de potassium

KI : L'iodure de potassium

Kg: Kilo gramme

KOH : Hydroxyde de potassium

L : Leucocyte

LDL-c : Cholestérol à Lipoprotéine de basse densité

M: Masse molaire

Max : Maximum

MEB : microscopie électronique à balayage

Meq : Milliéquivalent

Min : Minute

MG : matière grasse

mmol : Milli mol

mol: Mole

MS: Matière Sèche

MTT : (3-(4,5 Dimethylthiazol-2-yl)-2,5-Diphenyltetrazolium Bromide)

MM : matières minérales

N : Normalité

NaOH : Hydroxyde de sodium

Na₂CO₃: Carbonate de sodium

Na₂S₂O₃: Thiosulfate de sodium

NaCl: chlorure de sodium

NF-κB: Nuclear factor-kappa B

OA: Acide oléique

O₂ : Dioxygène

O₂²⁻ : Ion peroxyde

PA : pression artérielle

PP2A : La protéine phosphatase 2A

PPARα : Récepteur activé par les proliférateurs de peroxysomes

Rdt : rendement

RGF : Régime riche en graisses et en fructose

SM : Spectromètre de Masse

T° : Température

TAC : Capacité Anti-oxydante Totale

Ti : taux d'impureté

TNF-α : Facteur de nécrose tumorale α

UV : Ultraviolet

VLDL-c : Cholestérol à Lipoprotéine de très basse densité

(μg EAG/l) : Miquro-gramme Equivalent acide Gallique/litre

ω3: Oméga 3

ω6: Oméga 6

Liste des tableaux

	Pages
Tableau I. Classification de <i>salivai hispanica</i> L.....	12
Tableau II. Composition de graine de chia.....	14
Tableau III. Propriétés physiques et chimiques de l'huile de chia.....	19
Tableau IV. paramètre physicochimiques des poudres de chia.....	39
Tableau V. Taux des éléments essentiels nécessaires déterminé par l'analyse fluorescence aux rayons x (% masse).....	44 44
Tableau VI. Paramètres physicochimiques des huiles de chia.....	47
Tableau VII. Composition en acides gras de l'huile de chia (g/100 g).....	54

Liste des figures

	Pages
Figure 01. Diagramme représentant la composition de l'huile végétale.....	05
Figure 02. Les acides gras (R1, R 2 et R3) peuvent être identiques ou différents.....	06
Figure 03. Structure des acides gras.....	07
Figure 04. Structure et nomenclature des principales familles des acides gras.....	08
Figure 05. La plante de <i>Salvia hispanica</i>	12
Figure 06. Les graines de <i>Salvia hispanica</i>	13
Figure 07. Culture et dispersion du chia.....	13
Figure 08. Boisson à base de chia : "chia fresca".....	16
Figure 09. Graines et poudres de chia.....	27
Figure 10. Huile extraites des graines de chia.....	31
Figure 11. Spectres IRTF des poudres et huiles de chia.....	42
Figure 12. Diagrammes de diffraction aux rayons-x des poudres.....	43
Figure 13. Structure de la poudre de chia de Brésil par microscopie électronique à balayage (MEB).....	45
Figure 14. Structure de la poudre de chia de Mexique par microscopie électronique à balayage (MEB).....	45
Figure 15. Analyse thermique de la poudres de chia Brésil.....	46
Figure 16. Analyse thermique de la poudre de chia Mexique.....	46
Figure 17. Spectres IRTF des poudres et huiles de chia.....	53

Introduction

Généralités sur les huiles végétales

Généralités sur les huiles végétales

I.1. Historique

À un moment donné de la préhistoire, on inventera le pressoir à huile. On ne sait pas à quand remonte exactement cette invention, mais on a retrouvé des mentions à ce sujet dans les écrits védiques de l'Inde ancienne, tandis que, dans le bassin méditerranéen, les pressoirs se répandent à partir du 3^e millénaire. L'histoire des huiles végétales et de leurs usages sera directement liée aux avancées technologiques qui ont permis de passer, au fil du temps, du pressoir à main rudimentaire à l'expeller moderne (ou presse à vis sans fin) en passant par l'ouvrage gigantesque creusé dans le rocher ou bâti en pierre, et alimenté par le courant d'une rivière. (Boutayeb, 2013)

Les premières huiles seront celles que l'on tire de l'olive, à l'Ouest, et de la graine de sésame, à l'Est. Leur extraction n'exigeait aucune cuisson préalable et ne demandait qu'une force mécanique relativement faible, que pouvait fournir l'être humain ou l'animal de trait. Elles resteront pendant longtemps les seules huiles comestibles. On ne les employait que parcimonieusement, car elles étaient dispendieuses. Puis, s'ajouteront les huiles de fruits secs - noix, noisette, pistache, etc. - des fruits de divers palmiers - cocotier, noix de palme, noix palmiste et, plus récemment, celles des graines de moutarde, colza et coton. Avec l'avènement de l'ère industrielle, on mettra au point des procédés de raffinage permettant d'extraire l'huile de matières réfractaires à la simple pression à froid (soya, maïs, pépins de raisin). Dans certains cas, on les désodorisera pour éliminer les principes amers qui, autrement, en limiteraient la comestibilité. L'huile qui, jusque-là, était essentiellement extraite mécaniquement dans des pressoirs artisanaux, deviendra un produit de consommation courante et, toutes proportions gardées, son prix nécessera de baisser.

(Boutayeb, 2013)

I.2. Définition

Les huiles végétales sont extraites des graines, des amandes et des fruits. Les oléagineux sont ceux qui servent à produire industriellement de l'huile et qui sont cultivés dans ce but. Parmi les plantes cultivées pour leur huile, on cite : l'arachide, l'olivier, le colza, le ricin, le soja et le tournesol. En général, toutes les graines contiennent de l'huile. Les huiles végétales sont des substances insolubles dans les solvants minéraux, constituées en majeure partie d'esters de glycérol d'acides gras, appelés triglycérides (Chaib et *al.*, 2013).

I.3. Composition des huiles végétales

Les corps gras d'origine végétale sont essentiellement des glycérides (98-99%), appelées fractions saponifiables. Une fraction quantitativement mineure, appelée fraction insaponifiable, est également présente dans ces corps gras. D'autres composés, n'appartenant pas à ces deux catégories, peuvent y être présents dans de faibles proportions : les Phospholipides, les cires, les chlorophylles, les caroténoïdes et les produits d'altération, issus de la dégradation des triglycérides durant le stockage. (Karleskind, 1992).

La fraction saponifiable d'une huile végétale représente un pourcentage massique de 98 à 99 %, elle contient :

- **Les glycérides** : Les triglycérides, Glycérides partiels;
 - **Les acides gras** : Les acides gras saturés, Les acides gras mono-insaturés, Les acides gras polyinsaturés ;
- **Les phosphatides** (Bourachouche et *al.*, 2017) ;

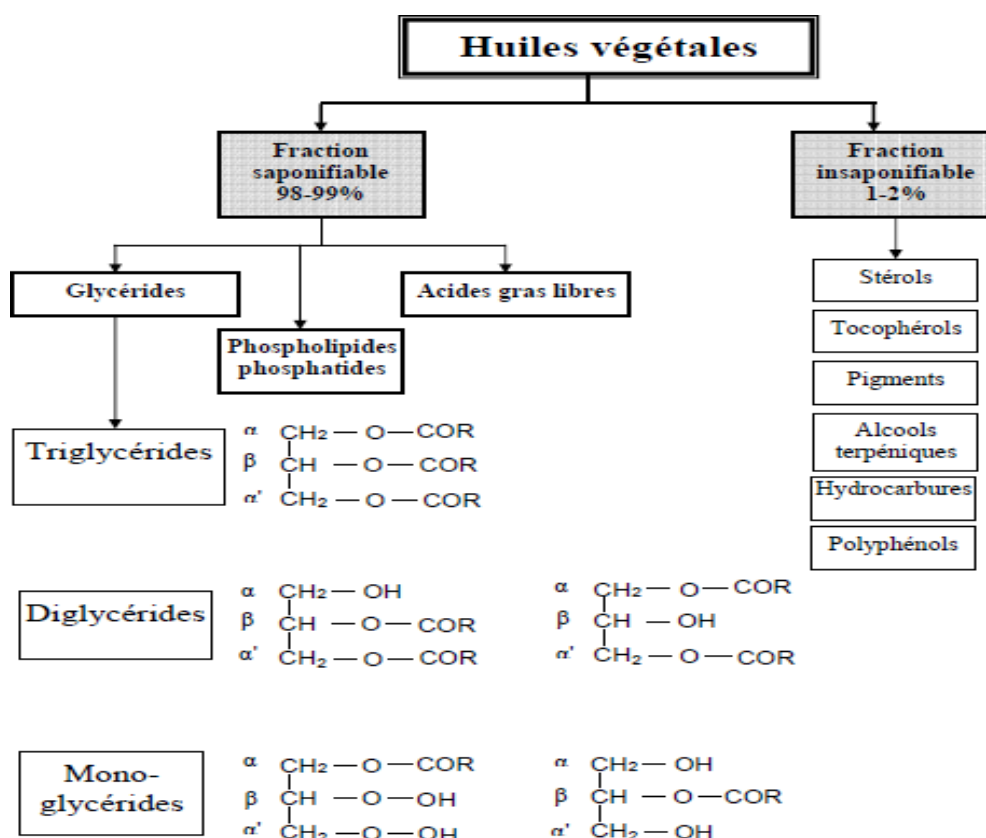


Figure 01 Diagramme représentant la composition de l'huile végétal (Perrin, 1992).

I.3.1. Les Triglycérides

Les corps gras sont constitués par des mélanges d'esters appelés mono-, di- ou triglycérides (ces derniers étant prépondérants) selon le nombre de fonctions alcools du glycérol estérifiées par les acides gras. Le nombre élevé des acides gras présents dans un lipide, ainsi que les multiples possibilités de leur combinaison avec le glycérol font des corps gras des mélanges très complexes dont les structures et les propriétés varient de façon significative. Deux corps gras renfermant qualitativement et quantitativement les mêmes acides gras auront, si ces derniers sont répartis de manière différente dans les triglycérides et présentent des caractéristiques physiques, chimiques ou physiologiques différentes (Karleskind, 1992).

Chaque huile est caractérisée par la composition en acides gras de l'espèce végétale dont elle est extraite. Les triglycérides, qui représentent 98 à 99 % de l'huile végétale raffinée, résultent de l'union de trois acides gras au glycérol suivant la réaction d'estérification. (Karleskind, 1992).

Lorsqu'une molécule de glycérol est liée à 3 molécules d'un même acide gras ($R = R' = R''$), le triglycéride formé est dit homogène. Dans le cas contraire, le triglycéride est dit mixte.

(Karleskind, 1992).

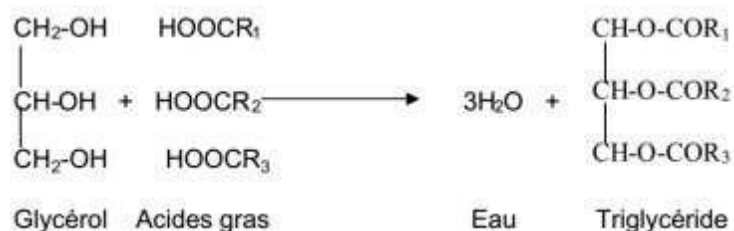


Figure 02 Réaction d'obtention de triglycérides (Desagher, 1998).

• Les acides gras (AG)

Les acides gras sont des acides carboxyliques à chaîne carbonée. Ce sont des constituants des graisses et des lipides membranaires. Ces composés peuvent être saturés ou insaturés, hydroxylés ou ramifiés (Weill, 1995).

La fonction acide carboxylique réagit avec les alcools et les amines pour former des esters et des amides ; c'est sous cette forme combinée qu'ils existent dans les aliments (Frenot *et al.*, 2001).

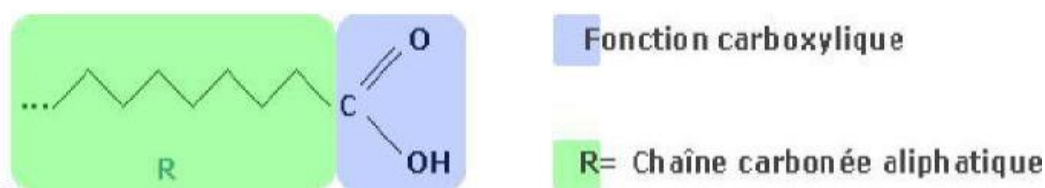


Figure 03 Structure des acides gras (Karleskind, 1992).

• Classification des acides gras (AG)

On peut classer les acides gras en trois grands groupes qui diffèrent entre eux par la longueur de la chaîne carbonée consécutive et par le type de liaisons (simples ou doubles) entre les atomes de carbone de cette chaîne. (Karleskind, 1992).

• Les acides gras saturés (AGS)

Ils sont constitués d'une chaîne hydrocarbonée ne renfermant pas de doubles liaisons et ont pour formule générale $\text{CH}_3 - (\text{CH}_2)_n - \text{COOH}$. Ils sont solides et assez stables à température ambiante. Les plus rencontrés sont : l'acide palmitique ($\text{C}_{16} : 0$) et l'acide stéarique ($\text{C}_{18} : 0$) (Karleskind, 1992).

• Les acides gras insaturés (AGI)

De nombreux acides gras contiennent une ou plusieurs doubles liaisons, ils sont dits insaturés. Au niveau d'une double liaison il manque deux atomes d'hydrogène du même côté de la molécule, l'espace ainsi libéré crée un point de faiblesse dans la chaîne qui entraîne une angulation (Karleskind, 1992).

• Les acides gras mono insaturés (AGMI)

On parle d'acide gras mono-insaturé (mono-unsaturated-fattyacids, MUFA) lorsqu'il n'y a qu'une seule double liaison. Les acides gras mono-insaturés sont linéaires, avec deux chaînes de n et p CH_2 de part et d'autre de la double liaison $\text{C}=\text{C}$, et une formule chimique de la forme $\text{H}_3\text{C} - (\text{CH}_2)_n - \text{HC}=\text{CH} - (\text{CH}_2)_p - \text{COOH}$ où n et p sont des nombres entiers positifs ou nuls. L'acide oléique ($18 : 1n-9$) est l'un des plus abondants (Mezouagh, 2016).

• Les acides gras polyinsaturés (AGPI)

Ce sont des acides qui contiennent plusieurs insaturations et qui se distinguent les uns des autres par le nombre et la position de l'insaturation. Il existe deux familles d'acides gras polyinsaturés essentiels, nommés $\omega 3$ (ou oméga-3) et $\omega 6$ (ou oméga-6) par rapport à la position de la dernière double liaison et à C terminale. Deux acides gras sont à l'origine de ces familles. Il s'agit de l'acide α -linoléique, le précurseur des oméga-3 et l'acide linoléique qui est le précurseur de la famille des oméga-6.

Ces deux acides gras sont indispensables car ils ne sont pas synthétisables par l'organisme ; seule l'alimentation peut nous les fournir (Mezouagh, 2016).

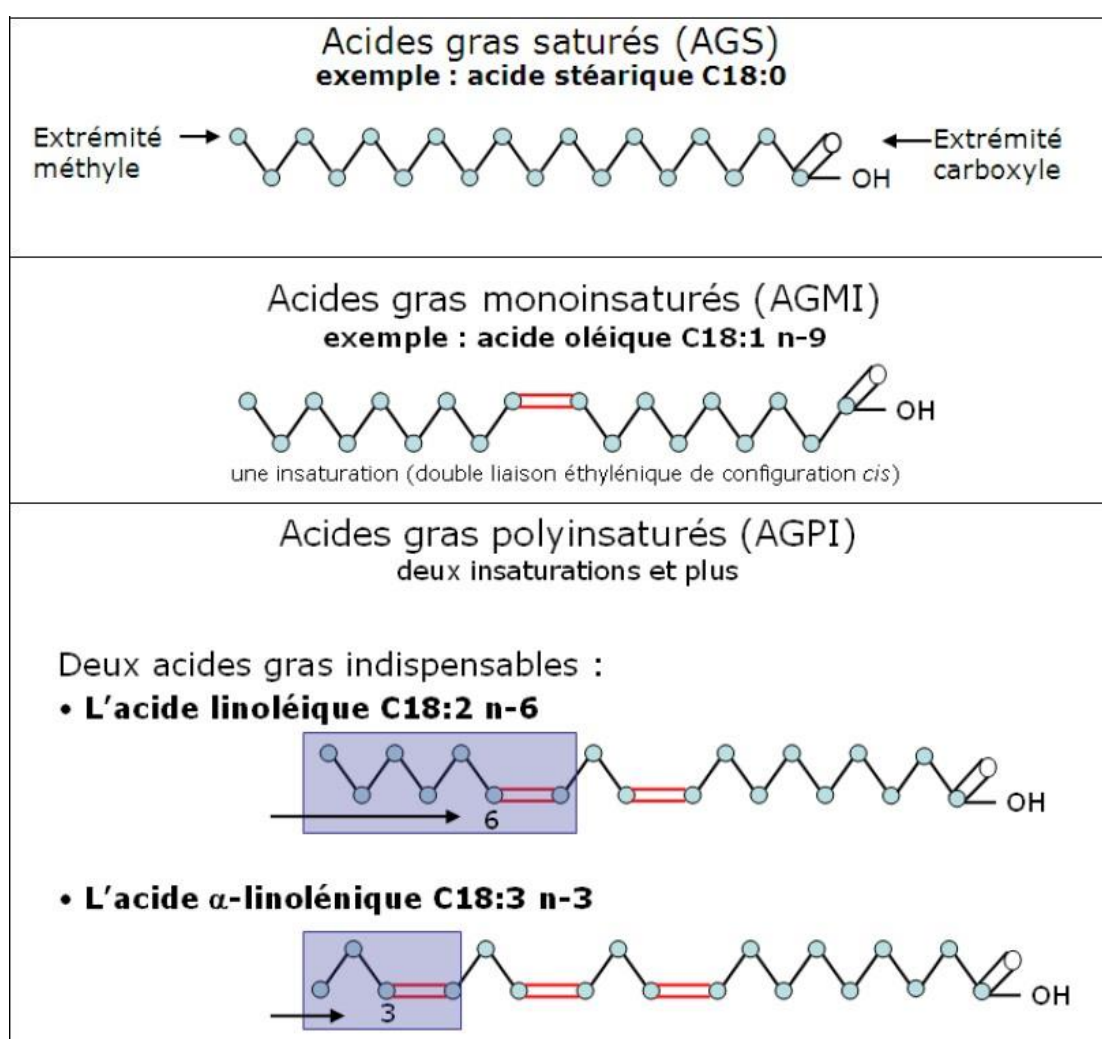


Figure 04 Structure et nomenclature des principales familles des acides gras
(Guesnet *et al.*, 2005).

•Acides gras essentiels (AGE)

Les AGE appartiennent aux groupes des AGPI ; mais tous les AGPI ne sont pas essentiels. Ils sont indispensables à l'homme qui ne peut ni s'en passer, ni les synthétiser. Ces AGE sont alors apportés par l'alimentation. Ce sont les acides linoléique, alpha linolénique et arachidonique. Chez l'homme et les animaux supérieurs, l'acide linoléique et l'acide alpha linolénique ne peuvent être synthétisés in vivo, mais il y a allongement de la chaîne et désaturation entre le carboxyle et la première insaturation menant à l'acide arachidonique (Boutayeb, 2013).

•Les acides gras libres (AGL)

Les acides gras libres ne sont pas fixés à une molécule de glycérol. Ceux sont les lipides alimentaires qui contiennent une gamme des constituants qui sont importants pour le maintien de la santé. Ces constituants non glycéridiques des lipides, encore appelés constituants mineurs, ne sont mineurs que du point de vue de leurs concentrations par rapport aux triglycérides (Boutayeb, 2013).

•Les insaponifiables

La fraction insaponifiable d'une huile végétale représente 1 à 2 % d'un lipide non raffiné. Elle comprend les constituants qui sont recueillis après saponification du corps gras par un hydroxyde alcalin (hydrolyse basique) et extraction à l'aide d'un solvant spécifique, cette fraction contient selon (Perrin, 1992) :

- Les hydrocarbures ;
- Les stérols ;
- Les pigments colorés (les chlorophylles et les caroténoïdes) ;
- Les tocophérols ;
- Les alcools terpéniques ;
- Les composés phénoliques ;
- Les cires ;

I.4. Méthodes d'extraction des huiles végétales

La production des huiles végétales a toujours été le principal objectif de la culture des graines. Les méthodes d'extraction ont évolué mais le processus d'extraction des huiles reste toujours le même (Boutayeb, 2013).

I.5. Extraction par solvant organique

Les solvants les plus utilisés à l'heure actuelle sont l'hexane, cyclohexane, l'éthanol, moins fréquemment le dichlorométhane et l'acétone. Le solvant choisi, en plus d'être autorisé, devra posséder une certaine stabilité face à la chaleur, la lumière ou l'oxygène. Sa température d'ébullition sera de préférence basse afin de faciliter son élimination, et il ne devra pas réagir chimiquement avec l'extrait. L'extraction est réalisée avec un appareil de Soxhlet. Ces solvants ont un pouvoir d'extraction plus élevé que l'eau, si bien que les extraits ne contiennent pas uniquement des composés volatils, mais également bon nombre de composés non volatils tels que des cires, des pigments, des acides gras et bien d'autres substances (Boukhatem et *al.*, 2019).

En fonction de la technique et du solvant utilisé, on obtient des hydrolysats (eau comme solvant), des alcoolats (éthanol dilué), des teintures (éthanol/eau), des résinoïdes (extraits éthanoliques concentrés) et des concrètes (extraits à froid et à chaud au moyen de solvants divers). La technique d'extraction « classique » par solvant, consiste à placer, dans un extracteur, un solvant volatil et la matière végétale à traiter. Grâce à des lavages successifs, le solvant va se charger en molécules aromatiques, avant d'être envoyé au concentrateur pour y être distillé à pression atmosphérique.

L'emploi restrictif de l'extraction par solvants organiques volatils se justifie par son coût, les problèmes de sécurité et de toxicité, ainsi que la réglementation liée à la protection de l'environnement. Cependant, les rendements sont généralement plus importants par rapport à la distillation et cette technique évite l'action hydrolysante de la vapeur d'eau.

Face à cette situation, deux nouvelles techniques ont été mises au point, ces dernières années, pour la distillation des substances d'arômes à partir des plantes : l'extraction assistée par micro-ondes et l'extraction par le CO₂ supercritique (Boukhatem et *al.*, 2019).

Le Chia (Salvia hispanica)

II. Le chia (*Salvia hispanica*)

C'est une plante herbacée annuelle de la famille des lamiacées et est considérée comme une pseudo-céréale. Le chia est une plante de courte journée et sensible à la photopériode, elle peut croître sur une large variété de sols sableux et argileux, tant que bien irrigués, avec une tolérance judicieuse au sel (Ullah *et al.*, 2016).

II.1. Description botanique et classification

La plante de chia appartient à la famille des Lamiacées. Sa classification est la suivante (Tableau I) (Hernández, 2012).

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

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

Salvia hispanica L. (chia) est une plante herbacée annuelle de la famille des lamiacées. Sa hauteur peut atteindre de 1 à 1,5 mètres, avec des tiges ramifiées de section quadrangulaire et creuse, à feuilles opposées aux bords sciés de 80 à 100 mm de longueur et 40 à 60 mm de largeur comme le montre la figure 05.

Les fleurs de *S. hispanica* L. sont hermaphrodites, de couleur violette, bleue ou blanche, habituellement à fruits indéhiscents en groupes de quatre clous monospermes ovales de 1,5 à 2 mm de long et de 1 à 1,2 mm de diamètre (López *et al.*, 2017).



Figure 05 La plante de *Salvia hispanica* L. (site web 1)

Les graines sont légèrement molles et brillantes, de couleur grise-brune avec des taches brunes foncées, qui peuvent parfois être blanches (Di Sapio *et al.*, 2012), elles sont petites et légères ainsi le poids de 1000 graines peut varier de 0,94 et 1,29 g (Bueno *et al.*, 2010).

S. hispanica L. est une plante autogame, les insectes sont responsables de la pollinisation croisée, mais la reproduction la plus couramment rencontrée est accomplie grâce aux semences (Ayerza et Coates, 2006 ; López *et al.*, 2017).

C'est une plante de courte journée sensible à la photopériode, présentant une réponse favorable à la floraison les jours courts (Jamboonsri *et al.*, 2012 ; López *et al.*, 2017).



Figure 06 Les graines de *Salvia hispanica* L. (Grancieri *et al.*, 2019)

II.2. Origine et répartition

La plante de chia, est une plante originaire d'Amérique centrale, zone à climat tropical chaud, des régions montagneuses de l'ouest et du centre du Mexique, ainsi que du Guatemala (Disapio *et al.*, 2012). Elle est répartie dans les milieux semi-chauds et tempérés de l'axe Néovolcanique transversal de la Sierra Madre Occidental et du Chiapas méridional, à des altitudes allant de 1400 à 2200 m. (Di Sapio *et al.*, 2012).



Figure 07 Culture et dispersion du chia (Jamboonsri *et al.*, 2012).

Dans la figure 07 sont représentées :

La zone ombrée en bleu marquant la zone traditionnelle de culture du chia du nord du Mexique au Guatemala.

Une deuxième zone en vert indiquant des cultures apparemment précolombiennes connues dans le sud du Honduras et au Nicaragua.

Les zones ombrées en jaune présentant les zones dans lesquelles les lignées de Chia traditionnelles peuvent être cultivées aux Etats-Unis (avec irrigation)

La zone en rouge exposant les zones où les nouveaux génotypes de Chia à floraison précoce pourraient être cultivés pour la production de graines (Boisclair *et al.* 2021)

Historiquement, cette espèce a été cultivée dans des environnements tropicaux tels que les régions subtropicales. (Capitani, 2013), en particulier dans les zones montagneuses de l'océan Pacifique.

La graine de chia représentait, depuis près de 2500 avant J.C, l'une des quatre cultures de base des Mayas, avec le maïs, l'amarante et les haricots. Son nom provient du nahuatl, langue indigène du Mexique, qui la surnommait « graine des Dieux » (site3) alors que le mot chia provient du mot espagnol « Chain » qui veut dire huileux. (Ullah *et al.*, 2016). Dans les temps préhispaniques, les graines de chia ont servi de revitalisant pour les combattants qui sont partis à la guerre, et pour les femmes qui se préparent à l'accouchement (López *et al.*, 2017).

II.3. Graines de chia et composition

Les graines de chia sont caractérisées par des concentrations élevées d'acides linoléiques (oméga-6) et α -linoléniques (Raimondi *et al.*, 2017). Ces acides gras sont des acides gras essentiels polyinsaturés qui ne peuvent pas être produits dans le corps humain et qui doivent donc être intégrés dans l'alimentation des animaux et des humains (Jorgensen *et al.*, 2012 ; Raimondi *et al.*, 2017)

Les graines sont composées de protéines (15–25%), acides gras (30–33%), carbohydrates (26–41%), fibres alimentaires (18–30%), cendres (4-5%), minéraux, vitamines, et matière sèche (90–93%) comme démontré dans le tableau II. Ils contiennent également une teneur élevée d'antioxydants.

Tableau II Composition des graines de Chia.
(Ixtaina *et al.*, 2008 ; Norlaily *et al.*, 2012)

Eléments	Concentration (%)
Protéines	15–25
Acides gras	30–33
Carbohydrates	26–41
Fibres alimentaires	18–30
Cendre	4-5
Matière sèche	90 – 93

La teneur en acides gras de l'huile de la graine de chia par ordre décroissant est: Acide α -linolénique (C18:3) > acide linoléique > acide oléique > acide palmitique > acide stéarique. En particulier, la teneur en acide α -linolénique qui représente environ 60 % de tous les acides gras présents dans l'huile totale (Bochicchio *et al.*, 2015).

Les graines sont aussi riches en fibres alimentaires, en protéines, en minéraux et en composés polyphénoliques (Ayerza et Coates, 2004 ; Raimondi *et al.*, 2017).

En outre, ces graines sont exemptées de composés toxiques, telle le montre le site (site 3) sur les oméga-3 de chia qui a fait état d'analyses en laboratoire où aucune mycotoxine n'a été trouvée sur les échantillons de chia testés. Ceci est aussi démontrés par Peiretti et Gai, (2009) selon qui, la teneur en métaux lourds des graines se situait dans les limites de sécurité, sans mycotoxines et gluten potentiellement toxiques.

Quand elles sont hydratées, les graines de chia produisent un mucilage. Ce sont les polysaccharides contenus dans les graines qui donnent lieu à la production de ce gel qui les entourant.

Il a été signalé que le mucilage était essentiellement composé de polysaccharides et d'avoir des propriétés physiques exceptionnelles et un rapport élevé entre les fibres solubles et insolubles (de la Paz Salgado-Cruz *et al.*, 2013) : il absorbe 27 fois son propre poids d'eau, et cette quantité est affectée par la concentration et le type de sels (Muñoz *et al.*, 2012).

Le mucilage ou gel obtenu à partir de la fibre soluble contenue dans la graine, est une source d'hydrocolloïdes ayant des propriétés de rétention d'eau, émulsifiante, épaississante, stabilisante, et soluble dans l'eau chaude et froide. (Muñoz *et al.*, 2012)

En effet, en ingérant des graines, le contact avec la salive forme le gel qui a des effets favorables sur la nutrition et la santé car il génère un effet apaisant sur le tube digestif, crée une barrière aux enzymes ralentissant la décomposition des glucides complexes des sucres (Capitani *et al.*, 2012 ; Ullah, 2016).

II.4. Intérêts du chia

Ce n'est que récemment que des études agronomiques ont commencé dans le monde entier afin de chercher les différents intérêts de la plante de chia. Ces études, montrent qu'en plus de la consommation classique des semences, plusieurs utilisations innovantes des graines ainsi que des feuilles de chia ont été proposées (Bochicchio *et al.*, 2015).

II.4.1. Intérêts nutritionnels

Le chia est une culture oléagineuse avec une forte production d'acides gras, particulièrement d'oméga-3 et oméga-6 et de fibres, et elle est surtout utilisée pour des intérêts culinaires comme la phytoremédiation.

Les graines à leur tour, peuvent être consommées entières, après extraction de l'huile, ou moulues comme additif à d'autres ingrédients alimentaires. (Ayerza et Coates, 2004). Les graines de chia présentent une teneur élevée en protéines, (Bochicchio *et al.*, 2015) et sont utilisées pour leurs propriétés nutritionnelles et médicinales, surtout pour améliorer l'endurance des athlètes lors de leurs activités physiques, comme coupe-faim, agent amincissant, contrôle glycémique et régulateur intestinal (Martinez-Cruz et Paredes-López, 2014).

Également, lors de l'imbibition, les graines hydratées secrètent un mucilage, la production de ce mucilage suggère de nombreuses applications (Bochicchio *et al.*, 2015) comme dans les boissons appelées "agua fresca" ou "chia fresca" au Mexique illustré dans la Figure 08.



Figure 08 Boisson à base de chia : "chia fresca" (Bochicchio *et al.*, 2015)

Il est aussi utilisé couramment dans la préparation de l'eau douce, et comme enrichissant de produits de boulangerie López *et al.*, (2017). Selon Ayerza et Coates (2011), un adulte ayant un apport de 2700 calories aurait besoin de 22,5 à 26,5 g/jour de graines ou de 6,9 à 7,9 g/jour d'huile pour atteindre les recommandations quotidiennes requises d'acides gras en ω -3.

Le chia peut être incorporé dans l'alimentation humaine pour sa teneur et sa composition en protéines. L'huile extraite du chia peut être utilisée comme assaisonnement (Muñoz *et al.*, 2013).

Les graines de chia ne contiennent pas de gluten ce qui les rend intéressants pour les régimes sans gluten qui sont de plus en plus adoptés. En effet, l'addition de chia aux farines sans gluten améliore leurs qualités nutritionnelles et n'affecte pas négativement leurs caractéristiques organoleptiques (Steffolani *et al.*, 2014).

Aux Etats-Unis, en Amérique latine et en Australie, les graines de chia sont largement utilisées dans l'industrie alimentaire pour la production de pain, de biscuits et de produits de petit déjeuner.

En plus de sa consommation culinaire, le chia peut être utilisé comme agent épaississant et stabilisant dans des produits alimentaires comme les conserves, yaourts, mayonnaises et sauces (de la Paz Salgado-Cruz *et al.*, 2013), ou pour remplacer les œufs ou l'huile dans les produits de boulangerie (Bochicchio *et al.*, 2015).

Les directives alimentaires américaines recommandent la consommation de chia comme source principale d'aliments, les graines de chia sont utilisés dans les salades, les graines de chia sont utilisées dans les boissons et les aliments à base de céréales et peuvent être consommées sous forme brute (Ali *et al.*, 2012 et Ullah *et al.*, 2016).

II.4.2. Intérêts médicaux

L'utilisation d'aliments à intérêts médicaux date de la nuit des temps où la médecine traditionnelle jouait un rôle important en prévention des maladies. *Salvia hispanica* L. a été consommée traditionnellement en Amérique centrale et méridionale pour ses graines grâce à ses avantages variés pour la santé, en particulier pour maintenir un taux de lipides sériques sain. Cet effet est dû à la présence d'acide phénolique et d'huile oméga 3/6. (Norlaily *et al.*, 2012).

La présence d'acide chlorogénique, d'acide caféique, de myricétine, de quercétine kaempférol, acides gras insaturés bénéfiques, de protéines sans gluten, de vitamines, de minéraux et de composés phénoliques, font des graines de chia non seulement une source d'antioxydants mais aussi un aliment à de potentielles propriétés cardiaques, hépatiques protectrices, anti-âge et anticancérigènes.

La plante de chia est très riche en fibres alimentaires bénéfiques pour le système digestif et le contrôle du diabète, ses effets thérapeutiques dans le contrôle du diabète, de la dyslipidémie, de l'hypertension, comme anti-inflammatoire, antioxydant, anticoagulant sanguin, laxatif, antidépresseur, anti anxiété, analgésique, améliorant la vision et le système immunitaire sont scientifiquement établis. (Ullah *et al.*, 2016). Elle a été utilisée aussi dans des projets de recherche sur les médicaments contre les infections oculaires (Lu et Foo., 2002 et Reyes- Caudillo *et al.*, 2008).

II.4.3. Intérêts industriels

Le chia est couramment utilisé dans la préparation de l'eau douce, dans la préparation de la peinture (huile) et comme enrichissant de produits de boulangerie (López *et al.*, 2017), ou comme assaisonnement en préparations culinaires ou comme additif dans les produits cosmétiques (Munoz *et al.*, 2013).

Les graines de chia sont aussi largement utilisées pour l'extraction de composés bioactifs pour le développement d'aliments fonctionnels (Bresson *et al.*, 2009). Aux États-Unis, en Amérique latine, et en Australie, les graines de chia frappent le marché de l'industrie alimentaire.

Le chia est commercialisé sous plusieurs formes comme le montre la figure 08, et dont :

- Graines entières ;
- Farine des graines de chia ;
- Gel de chia ou mucilage ;
- Huile des graines de chia ;
- Gélules de chia ;
- Jus de fruits avec des graines de chia ;

II.5. Caractérisation physico-chimique des huiles de chia

Dans la caractérisation physique, le chia a montré une valeur de densité relative de 0,9241 (Codex, 2003) (Tableau 3)

La densité relative est élevée à la teneur en insaturation plus élevée dans les acides gras. Les résultats obtenus ici suggèrent que le chia à un nombre élevé d'acides gras insaturés. (Alvarado *et al.*, 2001).

Le chia a montré une valeur d'indice de réfraction de 1,4761 à 25°C. Cette valeur était similaire à l'huile obtenue à partir de graines de chia argentines et guatémaltèques avec 1,476 et 1,476 à la même température (Ixtaina, 2011). La couleur de l'huile de chia présentait plus d'unités jaunes (70) que rouges (9,1) (Hosseinian *et al.*, 2004) . La caractérisation chimique a montré que le chia a enregistré un indice d'acidité de 2,053 mg de KOH/g d'huile, ce qui représente une teneur moyenne en acides gras libres de 1,032% comme acide oléique et 1,017% sous forme d'acide linolénique. Les résultats suggèrent que l'huile de chia n'a pas été altérée par l'hydrolyse chimique ou enzymatique. Cet indice d'acidité était similaire à l'huile de chia obtenue par pression de graines argentines (2,05 mg KOH/g échantillon) mais supérieur à l'huile de graines guatémaltèques avec 1,64 mg KOH/g huile (Ixtaina, 2011). L'indice de saponification enregistré (222,66 mg KOH/g huile). En outre, l'indice était plus élevé par rapport aux huiles obtenues à partir de graines de chia argentines et guatémaltèques (193 mg KOH/g d'huile (Ixtaina, 2011).

Le chia a enregistré une faible teneur en insaponifiable (0,087 %), ce qui suggère une faible teneur en matière organique (stérols, hydrocarbures, pigments, phospholipides, vitamines) et, par conséquent, une faible quantité d'impuretés (Adrian *et al.*, 2000).

L'indice d'iode enregistré (193,45 g I/100 g d'huile) a montré le degré d'insaturation de l'huile de chia, et que ce paramètre est proportionnel au nombre de doubles liaisons dans les chaînes

d'acides gras (Codex, 2003). Les valeurs élevées de densité, d'indice de réfraction et d'indice d'iode ont révélé la teneur élevée en acides gras polyinsaturés (PUFA), tels que α linolénique (ω -3) et linoléique (ω -6) dans l'huile de chia (Codex, 2003).

Enfin, l'indice de peroxyde enregistré dans l'huile de chia (17,5 meq O₂ /kg d'huile) était inférieur à celui rapporté par Codex Stan 210 (Codex, 2003).

La concentration en phospholipides de l'huile de chia était de 118 ppm. L'importance des phospholipides dans l'industrie alimentaire est leur capacité à réduire la tension superficielle, facilitant ainsi la production d'émulsions stables (Tosi *et al.*, 1998).

Tableau III Propriétés physicochimique de l'huile de chia. (Maira Rubi *et al.*, 2017).

Propriété	Huile de chia Mexique	Huile de chia Argentine	Huile de chia Guatémaltèque
Densité relative	0.924±0.003	-	-
Indice de réfraction	1.476±0.00	1.04768	1.4763
Indice d'acidité (mg KOH/g d'huile)	2.053±0.03	2.05	1.64
Indice de saponification (mg KOH/g d'huile)	222.66±0.29	193.09	193.01
Matière insaponifiable (g /kg)	0.83±0.10	1.27	-
Indice d'iode (1g/100g d'huile)	193.45±0.54	210.5	1.4763
Indice de peroxyde (meq O ₂ /Kg d'huile)	17.5±0.07	-	1.64

Travaux intérieurs

Travaux antérieurs

III.1. Activité antioxydante

Plusieurs études effectuées *in vitro* révèlent une activité antioxydante considérable de graines de chia, Silveira Coelho *et al.*, (2014) ont montré que les extraits phénoliques de chia sont capables de neutraliser les radicaux DPPH jusqu'à 70%. Oliveira *et al.*, collègues (2017) ont évalués l'activité antioxydante des extraits éthanoliques vis à vis du radical (ABTS +), dans le modèle β -carotène d'acide linoléique. Les résultats montrent que les extraits testés ont une activité antioxydante intéressante similaire à celle de l'antioxydant standard Trolox .

Dans une expérience menée par Marineli *et al.*, (2015), des rats obèses ont été nourris avec des graines de chia ou de l'huile de graines de chia à raison de 133 et 40 g/kg de régime, respectivement, pendant 6 ou 12 semaines. Le traitement avec les graines et l'huile de chia provoque une augmentation statistiquement significative de l'activité des enzymes antioxydante dans le sang, à savoir celle de la CAT, de la GPx, de la GRd, et du GSH par rapport au groupe des animaux non traités nourris avec un régime riche en fructose sans supplémentation en chia. Une autre étude similaire réalisé par Grancieri *et al.*, (2019) les rats qui ont reçu un régime alimentaire riche en saccharose à long terme et qui ont été nourris avec des graines de chia sont revenus aux mêmes activités des enzymes antioxydants catalase, superoxyde dismutase et glutathion réductase que les valeurs de contrôle.

De même Toscano *et al.*, (2014) ont testé cette activité chez les humains sains et hypertendus, ayant consommés 35 g/j de farine de chia pendant 12 semaines, une meilleure activité antioxydante plasmatique a été observée par rapport aux patients hypertendus.

III.2. Activité antimicrobienne

Kobus-Cisowska *et al.*, (2019) indiquent que les graines de chia entières et moulues présentaient un potentiel antimicrobien contre les agents pathogènes des genres *Salmonella* et *Clostridium* ainsi que *Listeria monocytogenes*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli* et *Proteus mirabilis*.

Güzel *et al.*, (2020) ont montré que l'extrait éthanolique de graines de chia présente une activité antibactérienne contre les souches bactériennes gramme négatives et gram-positives. Par rapport l'ampicilline, les graines ont montré une plus grande activité contre le pathogène nosocomial gram-négatif (*Acinetobacter baumannii*). *Acinetobacter baumannii* représente en effet

un problème de santé majeur dans le monde en raison de sa capacité à acquérir une résistance à toutes les classes d'agents antimicrobiens utilisés contre elle. Selon les résultats de cette étude, Güzel *et al.*, (2020) indiquent que les graines de chia pourraient être des sources prometteuses dans le développement de nouvelles thérapies contre les infections causées par *A. baumannii*.

III.3. Activité antidiabétique

Alamri, (2019) a étudié l'effet des deux types de graines de chia (noir et blanche) sur 40 rats mâles albinos adultes pesant entre 180 et 200 g et âgés de six mois ont été divisés également en quatre groupes de 10 rats, le groupe 1 était le groupe témoin normal (non diabétique) et a reçu le régime standard, Le groupe 2 était le diabétique groupe témoin, et a reçu le régime standard; Le groupe 3 était un groupe diabétique qui a reçu le régime standard plus 20 % de graines de chia noires ; et le groupe 4 était un groupe diabétique qui a reçu le régime standard plus de 20% de graines de chia blanches. Les rats ont été nourris pendant six semaines. Le diabète a été induit par une dose unique de streptozotocine (60 mg/kg de poids corporel). Les résultats ont montré que, par rapport aux groupes témoins, les groupes nourris avec des graines de chia blanches ou noires présentaient des taux significativement plus faibles de glycémie à jeun, de cholestérol total, de triglycérides, de lipoprotéines de basse densité et d'enzymes hépatiques aspartate aminotransférase (AST) et alanine aminotransférase (ALT) chez les rats.

Rahman *et al.*, (2017) ont testé l'effet des extraits phénoliques de la farine de chia sur l'inhibition de l' α -glucosidase, une enzyme liée à la membrane des cellules épithéliales de l'intestin grêle, elle décompose les glucides alimentaires en glucose conduisant à l'accumulation du glucose dans le sang. Les résultats obtenus montrent que les composés phénoliques libres de l'extrait de chia exercent un effet inhibiteur significativement plus élevé ($18,93 \pm 3,01\%$) par rapport aux extraits phénoliques estérifiés et liés insolubles.

Dans une étude aiguë, des adultes en bonne santé qui ont consommé 25 g de chia moulu, avec une provocation au glucose, ont présenté une aire de glucose sous la courbe (AUC) réduite pendant 120 minutes et une réduction du pic de glucose et un temps d'obtention du pic plus long par rapport au contrôle (Vuksan *et al.*, 2017). De plus, du chia moulu et entier a été incorporé dans les produits de boulangerie (7, 15 et 24 g) et consommé par des individus en bonne santé après 10 à 12 heures de jeûne, et il y avait des zones incrémentielles de glycémie réduites sous la courbe (iAUC) par rapport au contrôle (Ho *et al.*, 2013) et à la glycémie postprandiale (Vuksan *et al.*, 2010).

Enes *et al.*, (2020) ont évalué l'influence de la farine et de l'huile de chia sur le métabolisme

du glucose chez les rats Wistar résistants à l'insuline. Les tests intrapéritonéaux de tolérance au glucose et à l'insuline ont montré que seule l'huile de chia était capable de réparer le métabolisme du glucose. Cette constatation est appuyée par marineli *et al.*, (2015) qui ont trouvé que l'huile et la farine de chia amélioraient la tolérance au glucose et à l'insuline chez les rats nourris avec un régime RGF. Ces résultats suggèrent que l'ALA dans l'huile de chia pourrait contribuer à améliorer la résistance au glucose et à l'insuline.

III.4. Activité hypotensive

Certaines études ont montré un potentiel prometteur de graines de chia pour réduire la pression artérielle. Toscano *et al.*, (2014) ont étudié l'effet de la consommation de 35 g/jour de farine de chia pendant trois mois chez les adultes hypertendus, les résultats obtenus montrent une réduction de la pression artérielle (PA), la peroxydation lipidique et les concentrations plasmatiques de nitrite. Dans une étude similaire réalisée sur des patients diabétiques de type 2. Nieman *et al.*, (2009) ont montré que la consommation de (35 g/jour) de graines de chia pendant 12 semaines provoque une réduction de la pression systolique et diastolique. Ces effets ont été attribués à la richesse de graines de chia en acides gras n-3.

De même Hernández-Pérez *et al.*, (2020) ont étudié le potentiel antihypertenseur de trois variétés de la farine chia commercial : noir de Puebla, blanc et Pinta Jalisco. Les résultats indiquent que les peptides obtenus à partir de la fraction de globulines possède l'effet inhibiteur le plus élevé contre l'ECA avec des CI50 de 203,61, 148,23 et 110,11 µg/ml pour les lignées de chia blanc, noir, et Pinta Jalisco respectivement.

III .5. Activité anti inflammatoire

Plusieurs études ont montré que l'ingestion de chia exerce un effet bénéfique sur les voies d'inflammation chez les animaux nourris ou non avec un régime riche en graisses (Marineli *et al.*, 2015). Silva *et al.*, (2019) ont évalué l'influence de la consommation de chia sur l'inflammation chez des jeunes rats Wistar nourris avec un régime standard et riche en graisses. Ils ont trouvé que la consommation de chia, réduit l'expression des cytokines pro inflammatoire, TNF- α , Il-10 et l'expression de NF-kb, elle augmente aussi l'expression de PPAR- α , qui entraînent une amélioration de la capacité anti-inflammatoire du corps.

Gazem *et al.*, (2016) ont examiné la propriété anti-inflammatoire de l'huile de graines de chia en soi et en synergie avec d'autres huiles végétales en utilisant des systèmes *in vitro*, à savoir le test de stabilisation de la membrane cellulaire des globules rouges et le test de dénaturation des

protéines. Les résultats de cette étude révèlent clairement la puissante propriété de stabilisation de la membrane de l'huile de graines de chia (63 %) et de l'huile d'olive (82 %). Des résultats similaires ont été observés dans le test de dénaturation des protéines. L'inhibition de la dénaturation des protéines était évidente avec l'huile de graines de chia (65 %).

III.6. Activité cytotoxique

Mutar *et al.*, (2019) a testé l'effet de l'extrait méthanolique de graines de chia sur la viabilité cellulaire des cellules MCF-7 (lignée cellulaire de cancer du sein) en utilisant le test MTT, le résultat obtenu montre une diminution de la viabilité d'une façon dosedépendante.

Gazem *et al.*, (2017) ont étudié le potentiel cytotoxique de l'huile de graines de chia (HGC) et de ses mélanges avec (l'huile de tournesol, l'huile d'olive, l'huile de palmoline et l'huile de soja) sur deux lignées cellulaires, les cellules CM (la leucémiomyéloïde chronique) et les cellules HeLa (Lignées cellulaires cancéreuses du col utérin), en utilisant deux tests, le test MTT et l'exclusion au bleu de trypan.

Parmi tous les échantillons d'huiles testés, l'huile de chia a démontré l'efficacité cytotoxique la plus élevée (jusqu'à 90%) contre la lignée cellulaire myéloïde chronique humaines. L'CI50 de l'HGC était de 5,32. Bien que comparativement, les effets cytotoxiques de l'huile de palmoline été légèrement moindre par rapport à d'autres échantillons d'huile, mais en combinaison avec l'HGC améliore la propriété cytotoxique.

III.7. Activités sur l'hydratation de la peau

Huber *et al.*, (2020) ont étudié l'effet de l'extrait éthanolique de graines de chia (EEC) enrichi en acide linoléique et en acide linoléique (vitamine F) sur l'hydratation de la peau. Cette étude a été réalisée sur la culture cellulaire des kératinocytes épidermiques humains normaux (NHEK). Un test de déméthylation de PP2A (La protéine phosphatase 2A) a été utilisé pour évaluer l'activité de PP2A et l'expression génique des marqueurs d'hydratation AQP3 (aquaporine-3) et HAS2 (l'acide hyaluronique synthase 2) ont été mesurées par PCR quantitative. Les résultats obtenus montrent que l'incubation des kératinocytes avec l'EEC inhibe la déméthylation de PP2A, augmente les facteurs d'hydratation des kératinocytes aquaporine- 3 et acide hyaluronique synthase-2.

Cette étude *in vitro* est complétée *in vivo* par un essai clinique effectué sur 16 sujets, les résultats obtenus montrent que l'application locale de 0,1% EEC formulé dans une crème améliore

le potentiel d'hydratation cutanée.

III.8. Activité hypocholestérolémiante

La consommation de graines de chia s'est révélée prometteuse pour réduire les niveaux de cholestérol sérique, car elles contiennent des concentrations élevées de fibres alimentaires et d'acides gras oméga-3 insaturés (Silva *et al.*, 2017). Plus récemment, il a été démontré que les protéines de chia et les peptides bioactifs de chia peuvent bloquer des marqueurs clés de la synthèse du cholestérol, tels que la 3-hydroxy-3-méthylglutaryl coenzyme A réductase (HMG- CoA réductase) (Coelho *et al.*, 2018).

D'après Toscano *et al.*, (2014) la consommation de 35 g de farine de chia/jour par des adultes en surpoids a entraîné une réduction du cholestérol total et du VLDL-c, et une augmentation du HDL-c.

Dans les études animales, la consommation de chia a entraîné une meilleure redistribution des lipides associées à la cardio protection et à l'hépatoprotection. Cela a été observé chez des rats recevant un régime hyper-lipidique et hyper-glycémique, qui présentaient également une inhibition de l'indice de l'enzyme stéaryle-CoA 9-désaturase dans le foie et le cœur (Poudyal *et al.*, 2012). Une autre étude sur des rats a également révélé une amélioration de la dyslipidémie et de la résistance à l'insuline induites par la consommation d'un régime riche en saccharose (62,5%) après ingestion de graines de chia (Chicco *et al.*, 2008). Les rats Wistar nourris à la fois avec du chia conventionnel et traité thermiquement, présentaient des concentrations de glucose, de triacylglycérides, de LDL-c, de VLDL-c plus faibles et des niveaux accrus de HDL-c, une hypertrophie des couches musculaires intestinales et une bonne digestibilité des protéines (Silva *et al.*, 2016).

Matériel et méthodes

Matériel et méthodes

IV.1. Matériel biologique

Les deux échantillons sont achetés du marché des plantes à Boumerdes, c'est une variété commerciale de chia (*Salvia hispanica*) cultivée au Mexique et au Brésil (voir figure 9, 10).

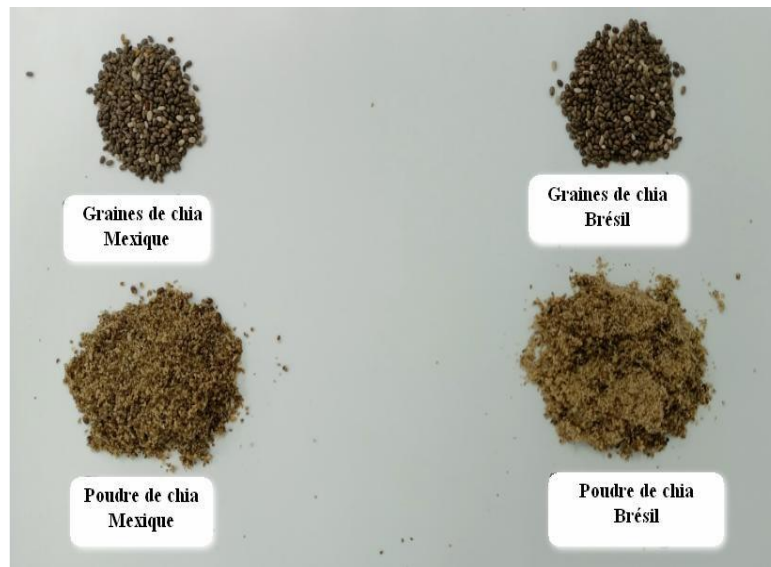


Figure 09 Graines et poudres de chia (photos originale).

IV.1.1. Analyse physico-chimiques des poudres

Mesure de l'humidité

La teneur en eau des graines de chia a été déterminée en séchant les échantillons à 130°C pendant 4 h. comme décrit par Guiotto *et al.*, (2013).

La teneur en cendres (matières minérales)

On entend par "cendres brutes" le résidu obtenu après incinération à 550°C±15°C dans un four à moufle à chauffage électrique jusqu'à une masse pratiquement constante (NF V 03-922). Le pourcentage en masse de cendres brutes est exprimé par la formule suivante :

$$C(\%MS) = \frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0} * 100$$

Avec :

M_0 : masse en grammes de la capsule d'incinération.

M_1 : masse en gramme de la capsule d'incinération chargée de la prise d'essai.

M_2 : masse en gramme de la capsule d'incinération chargée des cendres.

L'acidité

L'acidité libre des huiles est un paramètre de qualité très important dans leur classification. Elle a été déterminée selon la méthode ISO 660 (1996) révisée en 2009 consiste à doser les acides gras libres par une solution titrée de potasse comme suit : Une prise de 0.05 g d'huile est dissoute dans 1 ml d'un volume égal (étherdiéthylique/éthanol) (50/50 V/V). Les fonctions carboxyliques libres sont dosées par une solution de KOH à 0,1 N en présence de phénolphthaléine à 1% dans l'alcool absolu. La fin du dosage est marquée par l'apparition d'une couleur légèrement rose. L'acidité est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Acidité (\%)} = \frac{2.8226 * V_{KOH}}{m * 1000}$$

V_{KOH} : est le volume (μ l) de KOH ajouté jusqu'à l'apparition de la couleur rose.

m : est la masse (g) de l'huile (prise d'essai).

IV.1.2. Analyses biochimiques

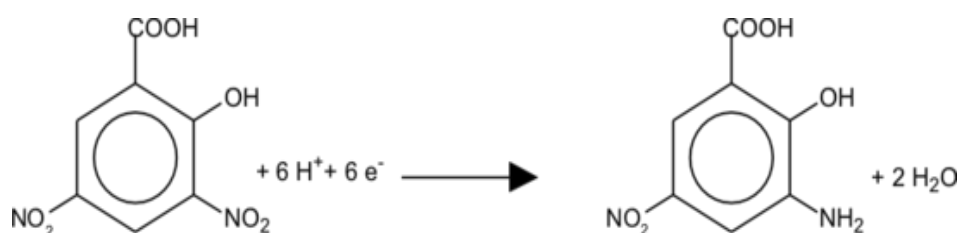
Détermination de la teneur en sucres

La concentration des sucres réducteurs totaux libérés par la digestion de l'amidon a été déterminée par la méthode DNS (Miller, 1959).

Principe:

On utilise les propriétés réductrices du glucose. À chaud et en milieu alcalin, il y a réduction de l'acide 3,5-dinitrosalicylique ou DNS (aussi appelé acide 2-hydroxy-3,5-dinitrobenzoïque) qui joue le rôle d'oxydant, le glucose étant le réducteur (Miller, 1959).

Réaction de réduction de l'acide 3,5-dinitrosalicylique en acide 3-amino-5-nitrosalicylique (aussi appelé acide 3-amino-2-hydroxy-5-nitrobenzoïque) :



Le glucose, quant à lui, est oxydé en divers produits d'oxydation :



Lipides totaux

Le principe consiste à effectuer une extraction par un solvant organique à l'aide de dispositif Soxhlet d'une capacité de 250 ml. La poudre de graine est épuisée en matière grasse par le passage des solvants. On estime qu'une extraction est totale au bout de 6 heures. La teneur en matière grasse totale exprimée en pourcentage de masse de produit, est donnée par la formule suivante :

$$LT(\%) = \frac{M_2 - M_1}{M_0} * 100$$

M₀: masse en gramme de la prise d'essai.

M₁ : masse en gramme du ballon.

M₂ : masse en gramme du ballon et du résidu.

Dosage des protéines (NF V 18-100)

La méthode de dosage de l'Azote utilisée selon la méthode de Kjeldahl, en vue du calcul conventionnel de la teneur en protéines brutes consistant en la minéralisation de la matière organique par l'acide sulfurique en présence d'un catalyseur approprié, en l'alcalinisation des produits de la réaction et en la distillation et le titrage de l'ammoniac libéré. Le pourcentage en azote est donné par la formule suivante :

$$N(\%) = \frac{(V_1 - V_0) * T * 0,014}{m} * 100$$

Avec :

V₀ : volume d'acide versé pour le blanc ;

V₁ : volume d'acide versé pour l'échantillon ;

T : titre de l'acide sulfurique (0,5 Mol/l) ;

m : prise d'essai de l'échantillon ;

La teneur en protéine exprimée en pourcentage est obtenue en multipliant la teneur en azote par un coefficient de 6,25.

IV.1.3. Analyse spectrale par infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)

L'analyse par spectrophotométrie infrarouge permet de distinguer les bandes caractéristiques des principales fonctions chimiques d'un aliment ; il s'agit d'un outil indispensable au suivi des modifications chimiques induites. Ainsi, un échantillon irradié par un faisceau infrarouge subit des vibrations moléculaires et absorbe une partie de l'énergie incidente. Son spectre infrarouge présente donc des bandes d'absorption dont les fréquences sont caractéristiques en fonction de la nature chimique du composé.

L'appareil utilisé est un spectrophotomètre à Transformée de Fourier de marque Alpha de la maison Bruker. L'interprétation des spectres est effectuée dans la zone **400-4000 cm⁻¹** de nombre d'onde (**64 scans**, résolution **1cm⁻¹**).

IV.1.4. Analyse par diffraction aux rayons X (DRX)

C'est une technique qui permet de déterminer le degré de cristallinité et démontrer l'orientation préférentielle des grains constituant la matière. Cette orientation dépend de la faculté de la matière à réfléchir la lumière. Le principe de la diffractométrie **RX** est d'envoyer deux rayons parallèles, en phase sur le cristal. Ceux-ci vont être diffractés par les plans rencontrés. Si ces plans sont parallèles, ils vont diffracter en phase. C'est alors que l'on mesure leur angle de réfraction afin d'établir la distance entre les plans. Grâce à la position des pics, les caractéristiques cristallographiques des aliments étudiés peuvent être déduites en utilisant l'équation de Bragg :

d : Représente la distance inter-réticulaire ;
 λ : La longueur d'onde du rayon incident ;
 θ : L'angle d'incidence ;
 n : Ordre de diffraction (nombre entier) ;

L'analyse structurale par diffraction des rayons X (**DRX**) est réalisée sur un diffractomètre type D8 Advance A 25 de la marque BRUKER ($\lambda(\text{CuK}\alpha) = 1,5418 \text{ \AA}$). Le spectre de diffraction est réalisé pour des valeurs de 2θ comprises entre 5 et 95°, à une vitesse de balayage de **0,02°/sec** (Guo B. Q *et al.*, 2008).

IV.1.5. Analyse par fluorescence X (FRX)

La fluorescence **X** est une méthode d'analyse spectroscopique de la matière non destructive, elle est utilisée pour la détermination quantitative et qualitative de la composition élémentaire d'un échantillon. L'équipement utilisé est de marque Rigaku type ZSX primus II, à rayons x dispersifs de longueur d'onde (**WDXRF**) qui comporte un cristal analyseur pour diffracter les rayons X.

La longueur d'onde du rayon **X** impactant et les espacements de la maille de cristal sont reliés par la loi de Bragg ($2d \sin\theta = n\lambda$). Les rayons **X** émis par l'échantillon sont collimatés par des lames de métal parallèle (fente de Soller). La lumière de rayons **X** diffractée par le cristal analyseur est spatialement déployée pour que les photons caractéristiques soient recueillis par un détecteur positionné à un angle précis pour enregistrer l'intensité du rayon **X** d'un élément spécifique.

IV.1.6. Analyse par microscopie électronique à balayage (MEB)

L'observation de la microstructure des poudres a été effectuée en utilisant la microscopie électronique à balayage (MEB-EDS Quanta 250 à filament de tungstène de la compagnie FEI). La poudre sèche a été déposée sur un support d'observation adhésif et conducteur, ensuite a été métallisé par plasma d'argon. L'observation a été réalisée sous vide à une tension accélératrice de **15 kV**. (Energy Dispersive Spectroscopy).

IV.1.7. Analyse thermique (ATG/DSC)

L'analyse thermique englobe toute une série de techniques de caractérisations des matériaux ; la calorimétrie différentielle à balayage (DSC) est une de ces techniques permettant de relever la température de transition vitreuse, T_g , la température de fusion, T_f , et la température de cristallisation, T_c , des matériaux semi-cristallins. Son principe de fonctionnement est basé sur la mesure de la quantité de chaleur, absorbée ou dégagée, par un matériau subissant un changement d'état physique initié par le chauffage ou le refroidissement de ce matériau. Le dispositif est muni d'un porte creuset contenant l'échantillon à analyser et une référence. Lorsqu'une différence de température se produit, une boucle de contrôle ajuste la puissance de chauffe de la référence de manière à réduire cette différence. Le flux de chaleur est alors enregistré puis représenté en fonction de la température, cela se traduit par l'apparition d'un thermogramme. Les essais ont été réalisés sur un DSC SDT 600 TA Instrument (figure), en effectuant deux passages (Carin, 2002) le premier est effectué afin de s'affranchir de l'histoire thermique des matériaux ; le second permet la mesure des différentes transitions au sein du polymère étudié. Les vitesses de chauffage et de refroidissement en température sont fixées à $10^\circ\text{C}/\text{min}$, sous un débit de $100 \text{ ml}/\text{min}$ d'azote. Les échantillons d'une masse de 5 mg sont placés dans un creuset en aluminium scellé par un couvercle embouti. Un creuset vide de même poids est utilisé comme référence. L'appareil est étalonné en température et en puissance avec un échantillon d'indium, de température et d'enthalpie de fusion connues : $T_f = 156,6^\circ\text{C}$ et $\Delta H_f = 28,4 \text{ J/g}$.

IV.2. Analyses physicochimiques des huiles préparées

L'huile a été extraite à froid par pression.

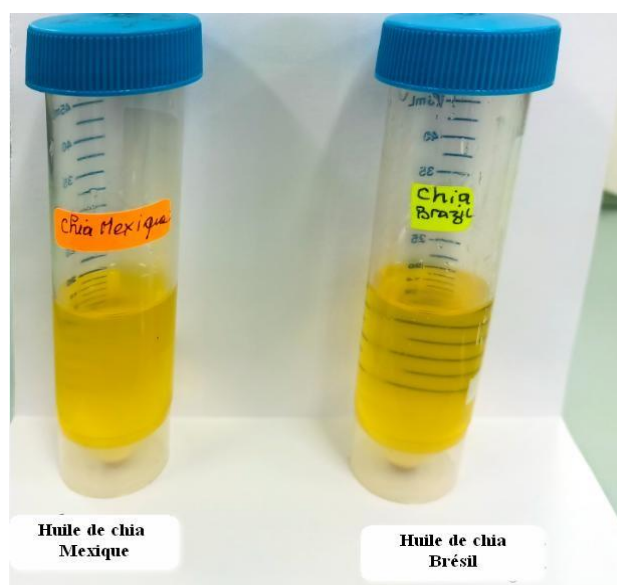


Figure 10 Huile extraites des graines de chia (photos originale).

Indice d'acide

L'indice d'acide est le nombre de milligrammes d'hydroxyde de potassium (KOH) nécessaires pour neutraliser les acides gras libres contenus dans un gramme de matière grasse.

La valeur de l'indice d'acide est calculée selon l'équation suivante :

$$I.A = \frac{V \times 5,61}{P}$$

V : Volume de KOH en ml ;

P : prise d'essai en g

Indice de peroxyde

L'indice de peroxyde d'un corps gras est le nombre de microgrammes de peroxyde actif contenu dans un gramme de produit, ce paramètre nous renseigne sur le degré d'oxydation de l'huile (COI, 2017). En milieu acide, les hyperoxydes réagissent avec l'ion iodure pour générer de l'iode qui est titré par une solution de thiosulfate de sodium en présence d'amidon exprimé en milliéquivalent d'oxygène actif par kilogramme d'huile (meq O₂ kg⁻¹ d'huile), est mesuré d'après la méthode équivalente à ISO 3960 (2017).

L'indice de peroxyde est déterminé par la mise d'une solution de 0.2g d'huile dans 2.5 ml d'une solution d'acide acétique glacial /chloroforme (2/3, V/V) à laquelle on ajoute 200µl d'une solution saturée de KI. Le mélange est placé par la suite pendant 15 min à l'obscurité, puis additionné de 1ml d'eau distillée et de 1ml d'une solution d'amidon ce qui conduit à l'apparition d'une couleur violette. A la fin, nous titrons par la solution de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ à 0,01N jusqu'à la disparition de la couleur. Un essai à blanc sans le corps gras est effectué parallèlement au premier essai. La valeur de l'indice de peroxyde est calculée selon l'équation suivante :

$$IP(meqO_2/Kg) = \frac{0.01 * (V - V_t)}{m}$$

V : Volume de thiosulfate versé dans le blanc (en µl).

V_t : Volume de thiosulfate versé dans la prise d'essai (en µl).

m: Prise d'essai en grammes.

Indice de saponification pour l'huile de chia

L'indice de saponification (I_s) d'un lipide est la masse d'hydroxyde de potassium KOH, exprimée en milligrammes, nécessaire pour neutraliser les acides gras libres et saponifier les acides gras estérifiés contenus dans un gramme de matière grasse.

Sa détermination se fait par un dosage dont le principe est : On fait réagir à chaud une solution d'huile de chia (2g) avec un excès de potasse KOH. Qui sera ensuite dosé par une solution d'acide chlorhydrique (HCl). Si l'on porte à ébullition l'huile de germe en présence de KOH, les acides gras se saponifient ; c'est une réaction totale lente mais qui prend 1h 30mn par chauffage par ébullition douce. La potasse réagit avec les acides gras libérés pour former du savon. (ISO 3657).

Les résultats sont exprimés par la formule suivante :

$$I_s = \frac{(V_0 - V) * 56,1 * N}{p}$$

Où :

V : Volume d'HCl en ml de la prise d'essai ;

V₀ : Volume d'HCl en ml du blanc ;

N : la normalité de HCl = 0.5N ;

P : Prise d'essai ;

Indice d'iode de l'huile

L'indice d'iode (Ii) se définit comme le nombre de grammes d'iode fixé par 100 g de matières grasses. Il a été déterminé suivant la méthode de Wijs'. Selon le protocole expérimental utilisé, on additionne au corps gras en solution dans du chloroforme un excès de chlorure d'iode, appelé réactif de Wijs'. Après quelques minutes de réaction, on ajoute de l'iodure de potassium et de l'eau distillée. L'iode libéré est titré par une solution titrée de thiosulfate de sodium (0,1 N) en présence d'empois d'amidon.

$$Ii \left(\frac{gI_2}{100g \text{ d'huile}} \right) = 12.69 * \frac{N * (V_0 - V_1)}{P}$$

V_0 : Volume de thiosulfate de sodium utilisé pour le titrage du blanc ;

V_1 : Volume de la solution de thiosulfate de sodium ;

N : Normalité de la solution de thiosulfate ;

P : prise d'essai ;

Extinctions spécifiques

L'examen spectrophotométrique dans l'ultraviolet peut fournir des indications sur la qualité d'une matière grasse, sur son état de conservation et sur les modifications dues aux processus technologiques. En effet, l'extinction spécifique d'une huile est une image de son état d'oxydation, plus son extinction à 232 nm est élevée, plus elle est oxydée par la présence d'hydro-péroxyde. De même, plus l'extinction à 270 nm est forte, plus l'huile est riche en produits secondaires d'oxydation qui traduit ainsi sa faible aptitude à la conservation. Elle est déterminée d'après la méthode ISO 3656, par la lecture de l'absorbance d'une solution de 0.1 g de l'huile dissoute dans 10 ml de cyclohexane. Cette absorbance est mesurée dans une cuve en quartz par rapport à celle du solvant utilisé (avec le cyclohexane comme référence) à l'aide d'un spectrophotomètre U.V / Visible équipé d'une fibre optique d'1 cm d'épaisseur. La lecture se fait à une longueur d'onde de 232 nm et 270 nm.

Détermination de la densité relative

C'est le rapport de la masse d'un certain volume d'huile à 20°C, et la masse d'un volume égal d'eau distillée à la même température. (Lion, 1955).

À l'aide d'une balance analytique, On effectue des pesées successives de volume égal d'huile et d'eau à la température de 20°C. D'abord on nettoie soigneusement le pycnomètre et on le sèche, on le pèse vide et on le pèse aussi une fois remplie d'eau distillée et une autre avec de l'huile, on note à chaque fois la masse.

La densité relative est donnée par la formule ci-dessous (Laisney, 1992)

$$d_{20} = \frac{m_2 - m_{01}}{m_1 - m_0}$$

Où :

m_0 : Masse (g) du pycnomètre vide ;

m_1 : Masse (g) du pycnomètre rempli d'eau ;

m_2 : Masse (g) du pycnomètre rempli d'huile d'olive ;

Teneur en caroténoïdes

Les teneurs totales en caroténoïdes ont été déterminées par la méthode de Mínguez-Mosquera *et al.*, (1991). Environ 0,2 g d'huile de graines de chia ont été entièrement dissous dans 2 mL de cyclohexane. L'absorbance de la solution a été mesurée à une longueur d'onde de 470 nm pour les caroténoïdes à l'aide d'un spectrophotomètre UV (Shimadzu UV-1800, Japon). La teneur en caroténoïdes a été quantifiée de la manière suivante :

$$\text{Teneur en caroténoïdes } \left(\frac{\text{mg}}{\text{Kg}} \text{ d'huile} \right) = \frac{A_{470} - 10^6}{2000 * 100 * d}$$

Où A est l'échantillon de la valeur d'absorption, 470 est le coefficient d'extinction pour les caroténoïdes, 2000 est le coefficient d'extinction pour les caroténoïdes (la lutéine étant un composant majeur de la fraction caroténoïde), et d est l'épaisseur de la cellule du spectrophotomètre (1,5 mm). Épaisseur de la cellule du spectrophotomètre (1 cm).

Teneur en chlorophylle

La quantification de la chlorophylle a été réalisée par spectrophotométrie via une extraction par solvant dans de l'acétone à 80 % (v/v) et du méthanol à 20 % (v/v). Un volume connu d'échantillon a été centrifugé dans une micro centrifugeuse (13 000 rpm, ~16 000 g, 10 min) et le surnageant a été retiré ; le volume de l'échantillon a été choisi pour maintenir une absorbance

<1,00 après l'extraction de la chlorophylle. Le culot a été remis en suspension dans de l'acétone à 80 % (v/v) dans du méthanol par vortex avant d'être à nouveau centrifugé (13 000 rpm, ~16 000 g, 5 min) pour éliminer les débris cellulaires. L'absorbance du surnageant a été mesurée à 646,6, 663,6 et 750 nm dans une cuve en verre contre un blanc de 80% d'acétone/20% (v/v) de méthanol, en utilisant un spectrophotomètre UV/Visible (Shimadzu UV-1800, Japon). Une fois l'extraction de la chlorophylle effectuée, tous les échantillons ont été conservés dans l'obscurité

jusqu'à l'analyse afin d'éviter la dégradation de la chlorophylle.

La teneur en chlorophylle a été calculée selon les coefficients d'extinction décrits dans Porra *et al.*, (1989) comme suit :

$$Chl\ a(\mu g/ml) = \frac{12,25 * E_{663,6} - 2,55 * E_{646,6}}{V_{\text{échantillon}}(ml)}$$

$$Chl\ b(\mu g/ml) = \frac{20,31 * E_{646,6} - 4,91 * E_{663,6}}{V_{\text{échantillon}}(ml)}$$

$$Chl\ a + b(\mu g/ml) = \frac{17,76 * E_{646,6} - 7,34 * E_{663,6}}{V_{\text{échantillon}}(ml)}$$

Où

E 663,6 et E 646,6 représentent les absorbances à 663,6 nm et 646,6 nm moins l'absorbance à 750 nm, respectivement.

Dosage des polyphénols

Extraction des composés phénoliques

Pour extraire les composés phénoliques, nous avons adopté le protocole de Pirisi *et al.*, (2000). Brièvement, 02 g d'huile de chia ont été introduits dans un tube, additionnés de 1 ml *n*-hexane et 02 ml de méthanol 60%. Après homogénéisation, la mixture a été centrifugée pendant 05 min à 3000 tpm. Le surnageant (méthanol) contenant les polyphénols a été récupéré. Cette procédure a été répétée deux fois afin d'épuiser l'huile. Les surnageants ont été réunis avant d'être concentrés à sec sous vide à 40 °C, puis récupérés dans 1 ml de méthanol 50%.

Teneur en composés phénoliques

Les composés phénoliques totaux ont été déterminés selon la méthode préconisée par Vasquez Roncero *et al.*, (1973) qui utilise le réactif Folin-Ciocalteu et l'acide gallique comme standard. En bref, 500 µl de réactif Folin-Ciocalteu et 450 µl d'eau distillée ont été ajoutés à un tube contenant 50 µl d'extrait avec agitation vigoureuse. Après 3 minutes, 400 µl de Na₂CO₃ (75 g.L⁻¹) ont été additionnés. Les tubes ont été incubés à 25 °C et à l'obscurité pendant 40 minutes.

L'absorbance est lue à 725 nm contre un blanc qui contient le méthanol au lieu de l'extrait. La

teneur en composés phénoliques de l'extrait a été déterminée à partir de la courbe d'étalonnage d'acide gallique et les résultats sont exprimés en mg équivalent acide gallique par kg d'huile de chia (mg EAG/kg d'huile).

Teneur en flavonoïdes

La détermination des flavonoïdes a été déterminée selon Djeridane *et al.*, (2006).

En bref, 1 mL d'extrait méthanolique a été mélangé avec 1 mL d'AlCl₃ méthanolique (2%). Après une incubation à température ambiante pendant 15 minutes, l'absorbance a été mesurée à 430 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV/Visible (Shimadzu UV-1800, Japon). La teneur en flavonoïdes a été déterminée par référence à la courbe standard déterminée avec quercétine et exprimée en mg d'équivalents de quercétine (EQ) par gramme de poids sec (mg EQ/g MS).

Essai antiradicalaire DPPH

Le principe de ce test se résume en la capacité de l'extrait à réduire le radical libre DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) de couleur violette foncée, qui se transforme en coloration jaunâtre (après réduction). Cette décoloration est mesurable par spectrophotométrie (Brand-Williams *et al.*, 1995). Le test de DPPH a été réalisé suivant la méthode décrite par Bektaset *et al.*, (2005). Une série de concentration d'extrait est préparée dans le méthanol, 50 µl de chacune sont ajoutés à 05 ml d'une solution méthanolique de DPPH (0,004%). Après une période d'incubation de 30 min à 25 °C, l'absorbance a été lue à 517nm. L'inhibition du radical libre de DPPH en pourcentage (I %) a été calculée de la manière suivante :

$$I \% = [(A \text{ blanc} - A \text{ échantillon}) / A \text{ blanc}] \times 100.$$

Une courbe des concentrations de l'extrait en fonction de I % a été tracée afin d'obtenir l'index IC₅₀. Ce paramètre est défini comme la concentration en composés phénoliques (mg/kg d'huile) requise pour diminuer la concentration du DPPH initiale de 50%. Le BHT (hydroxytoluène buthylé) dissous dans le méthanol a été utilisé comme contrôle positif.

Analyse des acides gras par GC-MS

Le solvant (chloroforme) des extraits a été évaporé sous un courant d'azote à 40°C et l'étalon interne (acide gras 17:0, 5 mg/mL), auquel 5 mL de toluène ont été ajoutés, et les tubes ont été vortexés pendant 30 s. Après l'ajout de 1,0 mL de solution de chlorure de sodium à 10% (p/v), les tubes ont été vortexés 15 s et incubés à 70°C (bloc thermique) pendant 2 h, et après refroidissement, de l'eau Milli-Q (1 mL) a été ajoutée. Les esters méthyliques d'acides gras ont été extraits en mélangeant l'éther de pétrole (2 mL), le vortex pendant 15 s. Après centrifugation

(5,000 × g pendant 5 min), la phase organique a été transférée dans un nouveau tube, et les esters méthyliques d'acides gras ont été évaporés sous N₂ à 40° et remis en suspension dans 1 mL de 2, 2,4-triméthylpentane. L'extrait a été injecté dans un système GC Agilent 7890 A équipé d'une colonne J&W DB-wax (30 m × 0,250 mm×0,25 µm) et interfacé avec un détecteur de spectrométrie de masse (MS) Agilent 5975 C à triple axe en mode impact électronique. Le volume d'injection était de 1 µL avec un split 15 :1 à une température d'entrée de 27°C. Le gaz porteur était de l'hélium, avec un débit fixe de 1 mL/min tout au long du programme de température : 100°C pendant les 4 premières minutes ; 100-205°C à 4°C/min ; 205-230°C à 1°C/min ; et 230°C pendant les 5 dernières minutes. Des standards externes de mélanges d'acides gras ont été utilisés pour l'identification des différents pics dans les échantillons. Les acides gras ont été quantifiés par rapport à l'étalon interne, additionnés et exprimés en milligrammes d'AG par g de graines de chia sèches (Pandurangan *et al.*, 2020).

VI.2. Analyse statistique

L'analyse statistique a été effectuée selon les méthodes standard de l'analyse de variance à un critère (ANOVA I) en utilisant le programme informatique du logiciel XLSTAT 2014, après vérification préalable de l'homogénéité des variances et de la normalité des données à analyser. Le test de Tukey ainsi qu'un seuil de probabilité significatif de 5 % ont été utilisés.

Résultats et discussions

Résultats et discussions

V.1. Analyses des poudres de chia

V.1.1. Valorisation nutritionnelle

La valeur nutritionnelle des poudres des graines de *Salvia Hispanica* est rapportée dans le tableau IV.

Tableau IV Paramètres physicochimiques des poudres de chia.

Nutriment en (%)	Poudre de chia Brésil	Poudre de chia Mexique	Travaux de Ixtaina <i>et al.</i> , (2008)
Humidité	5,75±0.29 ^(d)	6,27± 0.39 ^(d)	7 à 10
Cendres	3,67±0.24 ^(e)	4,56±0.23 ^(d)	4 à 5
Lipides totaux	34,78±0.793 ^(a)	34,07±0.376 ^(a)	30 à 33
Sucres	11,38±0.853 ^(c)	11,20±0.788 ^(c)	41
Acidité	1,33±0.313 ^(f)	1,39± 0.326 ^(e)	-
Protéines	20,56±1.78 ^(b)	19,25±1.68 ^(b)	15 à 25

V.1.2. Analyses physico-chimiques et biochimiques

- La teneur en humidité des poudres des graines de chia dans notre étude est de 5.75 et 6.27% respectivement pour les deux variétés Brésil et Mexique, donc on remarque la présence de petite différence entre les deux échantillons examinés. Cette différence d'humidité peut être expliquée par un problème lors de la culture elle-même, ceci peut être également lié à la fréquence d'irrigation. Ces résultats sont en accord avec les travaux de Segura-Campos *et al.*, 2013) qui ont trouvé une teneur en humidité des graines de chia 6,82%, nos valeurs sont relativement inférieures à celles trouvées par (da Silva *et al.*, 2016) qui ont travaillé sur la poudre de chia comme additif alimentaire pour diminuer le diabète pour des rats Wistar et ont trouvé une valeur égale à 7,14%. Des valeurs comparativement plus élevées d'humidité ont été rapportées par Jim *et al.* (2012), qui ont trouvé une valeur de 4,43% pour des poudres de chia utilisées comme traitement pour les femmes ménopausées. L'analyse statistique ANOVA suivi par le test de Tukey ne révèle aucune différence significative pour les deux variétés de chia.
- Les cendres des poudres sont le résidu inorganique qui reste après la combustion de la matière organique. La teneur des poudres de chia en cendres égale à 3.67 et 4.56% des deux variétés respectivement. On note une différence significative entre les deux variétés étudiées. Ce pourcentage des cendres est proche de celui observé par (Maira Rubi Segura-Campos *et*

al., 2014) 4,58%. De même pour Monroy-Tores *et al.*, (2008) 4,35% qui ont travaillé sur la digestibilité des protéines des poudres de chia, et Fernandes *et al.*, (2017) 4,93% qui ont travaillé sur le mucilage des poudres de chia pour améliorer la fraction lipidique des pains et des gâteaux. La variation statistique peut être due aux différentes compositions du sol du lieu de culture, aux différentes conditions climatiques ou aux différents stades de maturation des graines (Ayerza and Coates, 2009). Les variétés étudiées présentaient des différences locales de plantation, ce qui explique l'influence des variations environnementales sur la composition chimique.

- Dans notre étude l'acidité dans les poudres de chia est de 1,33 et 1,39% pour les deux échantillons variété de Mexique, donc le résultat est presque similaire chez les deux variétés de chia. Ces valeurs dépassent la norme (0.4g acide oléique/100g huile) (Codex alimentarius comission; 1999). Elles sont supérieures à celles trouvées par (Alexandre Guimarães-Inácio *et al.*, 2017) (0.050 ± 0.002) (g acide oléique/100g huile); et aux (0.96 ± 0.02) (g acide oléique /100g huile) (Yakindra Prasad Timilsena *et al.*, 2017). L'augmentation de l'acidité est proportionnelle au pourcentage des acides gras libres, ainsi à l'activité de la lipase.
- Dans notre étude le dosage des glucides dans les poudres de nos échantillons oscille autour de 11,38 et 11,20% pour les deux variétés Brésil et Mexique respectivement, les résultats sont similaires, l'analyse statistique ANOVA suivie par le test de Tukey ne révèle aucune différence statistique. Les valeurs obtenues lors de ce travail sont inférieures à celles de Maira Rubi Segura-Campos *et al.*, (2014), qui ont trouvé une valeur de 24,11%, pour les grains de chia. Par contre elles sont relativement supérieures à celles trouvées par Monroy *et al.*, (2008) (9,37%). Ces variations peuvent être dues aux plusieurs facteurs notamment le milieu de culture et l'interaction avec l'environnement (Climat, sol...).
- Pour les lipides totaux le résultat obtenu pour les deux échantillons est : 34.78 ; 34.07%. Les valeurs sont presque égales. Ces valeurs sont proches à celles trouvées par Fernandes *et al.*, (2017) (35,68%), même constatation pour Ixtania *et al.*, (2010) (35,13%). Par contre nos valeurs obtenues sont supérieures à celles exigées par l'institution **National Nutrient Database for Standard Reference Release**: USDA, (2011) qui est de 30,74%. À partir de ces résultats on peut dire que le rendement des lipides totaux est influencé par le stade de maturité de grains et la zone d'échantillonnage et la méthode d'extractions. Le chia est une culture oléagineuse avec une forte production d'acides gras, particulièrement d'oméga-3 et oméga-6 connues par leurs avantages variés pour la santé (Bejaoui, 2019).
- Dans cette étude, la teneur en protéines des graines de chia du Brésil et Mexique présente une

valeur de 20,56 et 19,25%. Ullah *et al.*, (2015) ont rapporté une teneur en protéines comprise entre 15 et 25% sous forme de graines de chia, notre valeur se situe entre cette limite. La teneur en protéines des graines de chia cultivées dans différents habitats varie de 18,8% à 21,5%, la variation de la teneur en protéines est probablement due aux conditions agronomiques, climatiques et du sol (Ting *et al.*, 1990). La teneur en protéines des graines de chia se montre supérieure à celle de toutes les céréales. L'absence de gluten dans le chia est une autre caractéristique des pseudo-céréales du chia qui peut être digéré par les patients souffrant de la maladie coeliaque. Aussi, en tant qu'aliment riche en protéines, elle peut aussi être consommée pour aider à la perte de poids en raison de la perte de graisses dans le corps. L'effet d'une alimentation riche en protéines (18 % de l'apport énergétique total) et pauvre en protéines (5 % de l'apport énergétique total) sur 113 hommes et femmes en surpoids a été étudié pendant 4 semaines. La prise régulière de chia peut aider les hommes et les femmes en surpoids à perdre du poids (Ullah *et al.*, 2016). La concentration en protéines des graines de chia est plus élevée que celle d'autres céréales traditionnelles, comme le maïs (14%). Céréales, comme le maïs (14%), le blé (14%), le riz (8,5%), l'avoine (15,3%) et l'orge (9,2%), et les graines de chia sont considérées comme ayant une valeur biologique élevée car leur profil en acides aminés ne présente pas de facteurs limitants pour un régime alimentaire adulte (Bejaoui, 2019).

V.1.3. Analyse par spectroscopie IRTF des poudres de chia

La spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier est une technique de référence fiable pour étudier les interactions intra et intermoléculaires des poudres. Elle a été réalisée pour identifier les groupements fonctionnels des poudres alimentaires. La figure 11 représente les spectres FTIR des poudres de chia des deux variétés étudiées Brésil et Mexique.

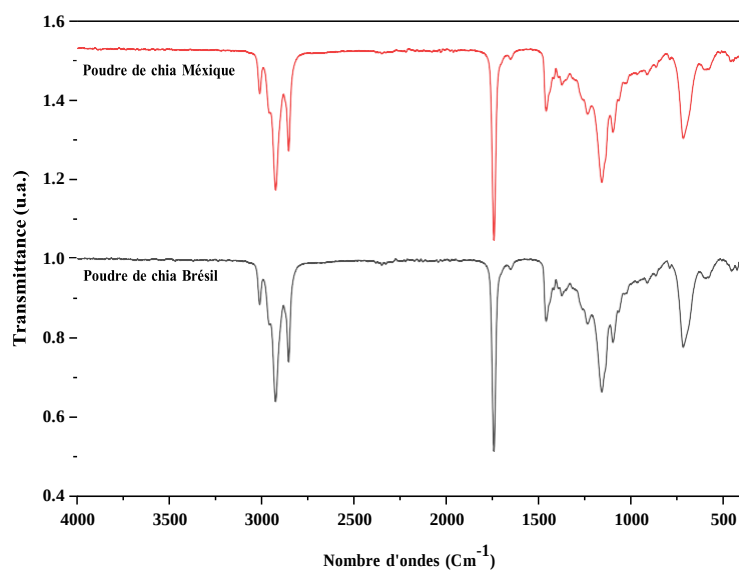


Figure11 Spectres IRTF des poudres de chia.

Les spectres obtenus pour les quatre échantillons sont similaires. Ces derniers présentent des différences marquées à des longueurs d'onde de 3237, 1742 et 1647 Cm^{-1} . Les pics obtenus à 3237 Cm^{-1} correspondraient aux vibrations symétriques et asymétriques de l'eau, qui peuvent être faibles pour les poudres (Pelletier, 1999 a), tandis que le pic obtenu à 1742 et à 1647 Cm^{-1} correspondrait aux vibrations d'élongation C=O des groupements carboxyles. Les autres spectres montrent l'absorption correspondant aux longueurs d'ondes 718, 1159 et 1460 Cm^{-1} confirmant la nature glucidique des échantillons. Selon Van soest *et al.*, (1995), les bandes à 1159 Cm^{-1} décrivent les propriétés de l'amidon, respectivement.

Les caractéristiques de bande des lipides étaient également présentes dans les spectres à 2923, 2853, 1742, Cm^{-1} . Comme on peut le voir sur la figure 3, les bandes d'absorption correspondant aux lipides sont beaucoup moins intenses dans le spectre des poudres, cela reflète le taux des lipides dans ces derniers qui est environ 34 % voir tableau IV.

V.1.3. Analyse par diffraction aux rayons X (DRX)

La figure 12 montre les diagrammes de diffraction aux rayons X des poudres de chia.

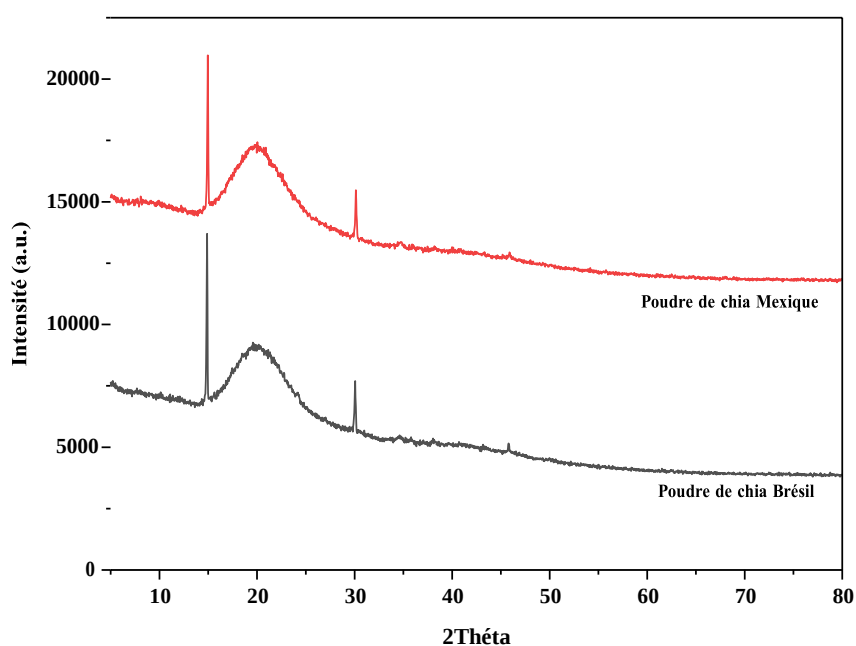


Figure 12 Diagrammes de diffraction aux rayons-x des poudres.

L'analyse par diffraction des rayons X (XRD) des poudres a été réalisée afin d'observer les structures cristallines. Comme le montre la figure 12, On peut observer que les poudres présentent des motifs similaires. La cristallinité pour ces échantillons de chia est très similaire, elle se situe entre 13 et 32°. Le reste des diagrammes montre un état amorphe. Les diffractogrammes de rayons X (Figure 12) des deux échantillons analysés ont montré trois pics caractéristiques à 15, 20 et 30 (2θ). La différence entre structure cristalline et amorphe résulte de la différence de quantité d'humidité dans les poudres elles-mêmes, comme mentionné par (Yu, 2001) et Ratti, (2001). Ces résultats sont en accord avec ceux de Valenzuela *et al.*, (2013) qui ont également rapporté la diminution de la cristallinité. Les auteurs ont expliqué ce fait par les interactions intermoléculaires entre les composants du réseau composite, qui ont probablement limiter les mouvements des segments de la chaîne moléculaire moléculaires et freiner le processus de cristallisation.

V.1.4. Analyse par fluorescence X (FRX)

Les taux des éléments essentiels constituant les poudres de chia sont déterminés par fluorescence X sont représentés dans le tableau V. Le résultat montre des niveaux variables de Macro et de micro-éléments essentiels à l'utilisation de ces poudres.

Tableau V Taux des minéraux déterminés par fluorescence aux rayons x (% masse).

Eléments	Poudre de chia Brésil	Poudre de chia Mexique
Mg	4.9639	5.3113
Al	0.3338	0.2174
Si	0.2352	0.2057
P	15.9803	15.8034
S	9.9867	9.8033
Cl	0.2582	0.256
K	32.1958	31.6589
Ca	31.5616	32.8282
Mn	0.4228	0.5404
Fe	2.3226	1.6931
Cu	0.4473	0.4456
Zn	0.9219	0.9036
Sr	0.3699	0.3331

L'analyse de nos résultats a révélé que les teneurs en Mg, P, K et Ca sont les plus dominants dans les poudres. Quant aux autres éléments, ils présentent des taux plus faibles.

L'analyse par FRX indique que les teneurs en éléments est presque similaire par rapport aux deux poudres de chia.

La présence de ces éléments est probablement dû aux additifs minéraux et vitaminiques ajoutés lors de la plantation, ainsi qu'à l'effet du sol.

V.1.5. Analyse des poudres par Microscopie électronique à balayage (MEB)

La microscopie électronique à balayage (MEB) contribue à la compréhension des relations entre les propriétés physicochimiques. Les différences observées dans les propriétés physicochimiques des poudres sont corroborées par leur microstructure (Figure 13 et 14).

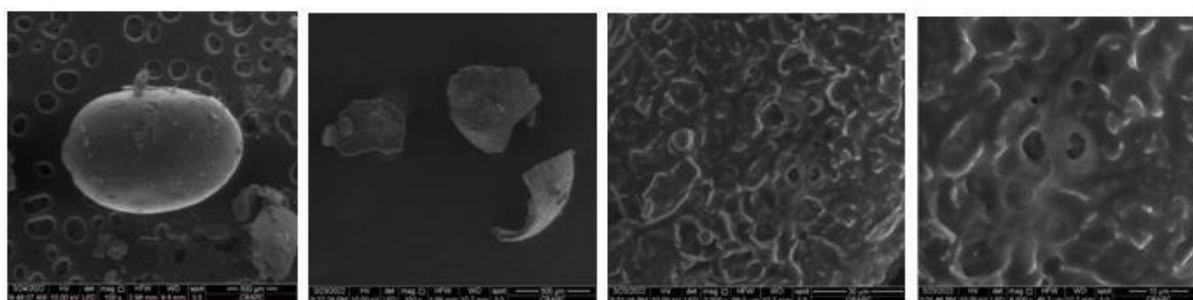


Figure 13 Structure de la poudre de chia de Brésil
Par microscopie électronique à balayage (MEB)

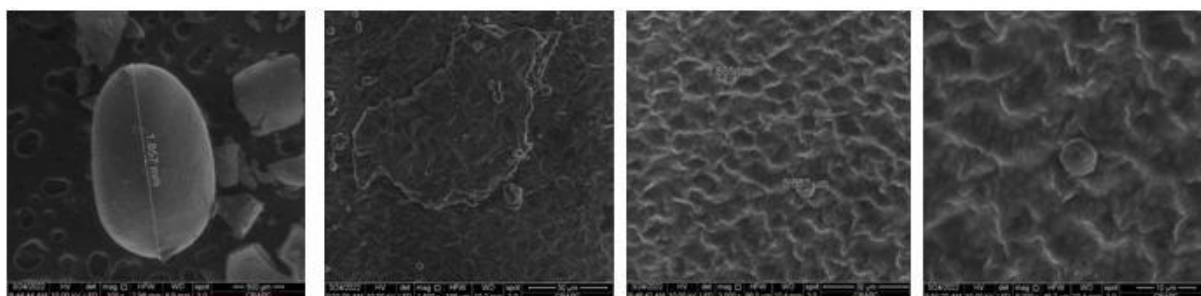


Figure 14 Structure de la poudre de chia de Mexique
Par microscopie électronique à balayage (MEB)

Les figures (13 et 14) montrent la micrographie SEM de la graine de chia et de ses poudres. Les figures montrent la graine entière, ce qui a facilité le calcul de la taille de la graine à partir de la microscopie MEB qui était de 1.857 mm de longueur, 1,15 mm de largeur, Ces dimensions sont en accord avec celles rapportées par (Capitani *et al.*, 2013). En ce qui concerne la structure de la graine, les figures ont montré le marquage de la section longitudinale de la graine. En outre, il peut être observé que, la dernière couche (épiderme) est formée de cellules de surface rugueuse avec une forme géométrique irrégulière disposée dans une grille, qui est responsable de la production de grandes quantités de mucilage, par la rupture de la paroi cellulaire externe quand ils sont humides, comme indiqué par Salgado-Cruz *et al.*, (2013). Les observations microscopiques permettent de mettre en évidence des différences microstructurales légères entre les granules des différentes poudres. En effet, on observe dans les poudres la présence de quelques surfaces irrégulières sous forme de fragments relatifs aux protéines. Les différences dans la taille des particules pourraient être attribuées au broyage des échantillons.

De point de vue structure les poudres présentent une structure microporeuse permettant d'avoir une influence sur la mouillabilité et la densité dans l'eau.

V.1.6. Analyse thermique par DSC/ATG

Les résultats de l'analyse thermique DSC/ATG sont illustrés dans les figures 15 et 16.

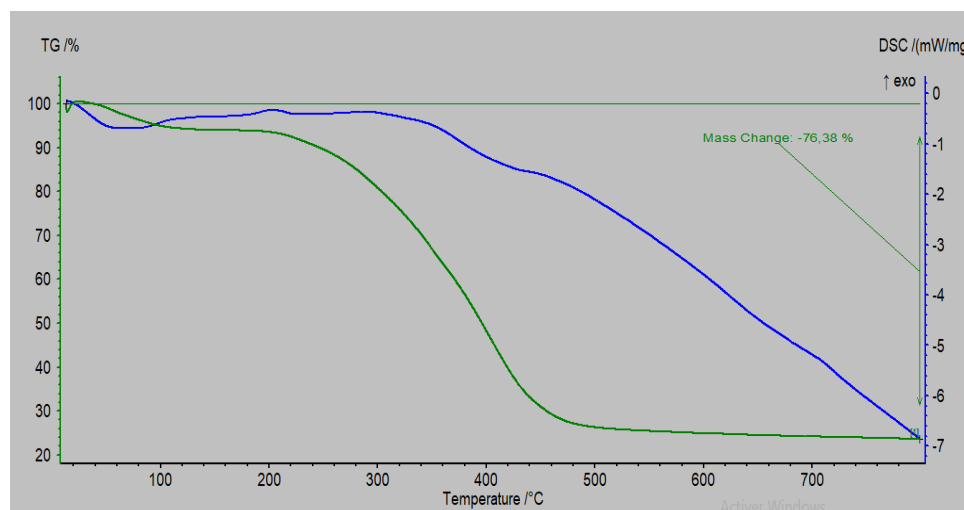


Figure 15 Analyse thermiques de la poudre de chia Brésil.

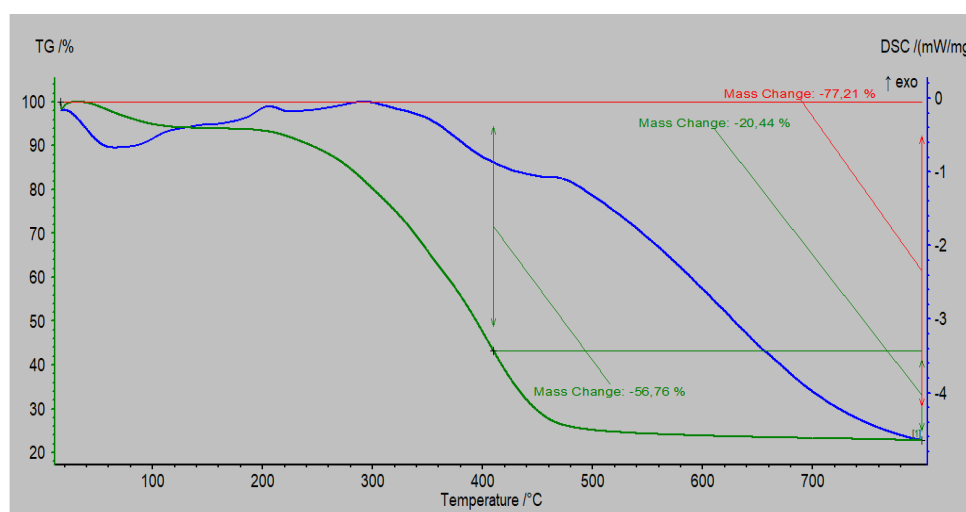


Figure 16 Analyse thermiques de la poudre de chia Mexique.

L'analyse thermogravimétrique (ATG) est une procédure précise pour étudier le schéma de décomposition et la stabilité thermique des poudres alimentaires. Les poudres de chia ont été caractérisé afin d'étudier leur applicabilité dans différentes préparations alimentaires allant du lait fermenté à la boulangerie. Les courbes ATG montrent la perte de poids de l'échantillon en fonction de la température (Hosseini *et al.*, 2013). Les figures précédentes montrent le comportement de dégradation thermique des poudres de graines. La perte de poids a été associée à trois étapes principales pour tous les échantillons. La première (~40- ~150 °C) est liée à l'évaporation d'une fraction de l'eau libre contenue dans les échantillons. En élevant la température

à 200°C, environ 10% de la masse des échantillons a été perdue. Le principal pic de volatilisation apparaît près de 250 °C. Cette deuxième étape a été caractérisée par un taux de perte de masse significativement plus élevé. La plupart des substances libérées ont été principalement attribuées à la dégradation de la structure polysaccharide qui compose le matériau de la paroi en substances de faible poids moléculaire qui ont eu lieu à cette plage de température et à une dégradation mineure des hydrates de carbone (Peng *et al.*, 2001). La perte de poids s'est produite dans la troisième étape à environ 410-800 °C pour les poudres de chia, en raison de la lente décomposition du résidu solide de l'étape précédente. D'autre part, l'analyse des résultats d'ATG montré que les poudres de chia ont une excellente stabilité thermique et offrent une opportunité d'être utilisés dans des processus qui impliquent des températures élevées. En effet, la température requise pour que les poudres de chia perdent leur demi-poids (T50%) était de 400°C.

V.2. Analyse des huiles de chia

V.2.1. Analyses physicochimiques des huiles de chia

Les valeurs physicochimiques des huiles de *Salvia hispanica* est rapportée dans le tableau VI.

Tableau VI Paramètres physicochimiques des huiles de chia.

Paramètres	Poudre de chia Brésil	Poudre de chia Mexique
Indice d'acide (mg KOH/g d'huile)	1.55±0.13 ^(d,e,f)	1.54±0.11 ^(e,f)
Peroxyde (meqO ₂ /Kg)	13.61±0.006 ^(c)	10.90±0.002 ^(d)
Indice de saponification (mgKOH/g d'huile)	184.66±2.1 ^(a)	143.52±2.92 ^(b)
Indice d'iode (gI /100g de l'huile)	188.21±2.31 ^(a)	188.29±2.44 ^(a)
K232	1.741±0.191 ^(e,f)	1.685±0.1 ^(e,f)
K270	0.387±0.043 ^(d,e,f)	0.402±0.057 ^(f)
Densité relative	0.8859±0.001 ^(e)	0.9006±0.002 ^(f)
Caroténoïdes (mg/kg)	5.13±1.01 ^(d)	4.98±0.09 ^(e)
Chlorophylles (µg/ml)	4.66±0.06 ^(d)	4.01±0.04 ^(e,f)
Polyphénols Totaux (mg EAG/gMS)	3.91±0.21 ^(d,e)	3.89±0.19 ^(e,f)
Flavonoïdes (mg EQ/g MS)	0.162±0.03 ^(f)	0.159±0.008 ^(f)
Piégeage du radical DPPH (%)	48.43±2.50 ^(b)	45.11±2.32 ^(c)

- L'indice d'acide permet de mesurer la quantité d'acide gras libre résultant des réactions d'hydrolyse et d'oxydation des triglycérides (Ndeye, 2001). De manière générale, on constate que le temps de conservation influence la teneur en acides gras libres des huiles (Tchiegang *et al.*, 2004). L'indice d'acide des deux échantillons (Brésil) et (Mexique) étudiés sont 1,55 et 1,54 et ne présentent aucune différence significative. (Maira Rubi S-C *et al.*, 2014) ont trouvé une valeur supérieur égale à 2,053 mg de KOH/g d'huile, ce qui représente une teneur moyenne en acides gras libres de 1,032%. Les résultats de cet indice sont plus faibles que ceux trouvés par (Ixtaina *et al.*, 2011) qui ont obtenu une huile par pression de graines de chia d'Argentine (2,05 mg KOH/g échantillon) et similaires à l'huile de graines Guatémaltèques avec 1,64 mg KOH/g huile. L'huile de graine de chia de Brésil et Mexique contient un indice d'acide faible par rapport à la valeur de l'huile de lin (2.14 ± 0.05) chez Berto *et al.*, (2020).
- L'indice de peroxyde est un critère de qualité qui permet de voir l'état d'oxydation des huiles et de contrôler les premières étapes de l'altération oxydative. (Chimi, 2005). L'huile de Mexique présente un indice de peroxyde plus faible (10,90 meq d'O₂/kg d'huile) alors que l'huile de Brésil (13,61 meq d'O₂/kg). Ces valeurs sont inférieures à celles décrites par Maira Rubi *et al.*, (2014), qui ont trouvé une valeur de 17,5 meq O₂ /kg d'huile, et supérieure à la valeur de 1,64 (meq d'O₂/kg d'huile) obtenu par Ixtaina *et al.*, (2011). La valeur de l'indice de peroxyde de nos résultats est également supérieure à celle de l'huile de graine de lin de Brésil (3,00) chez Berto *et al.*, (2020). L'indice de peroxyde enregistré dans l'huile de chia de Brésil et de Mexique était inférieur à celui rapporté par (Codex Stan, 2003) pour toute huile comestible brute. Boulfane *et al.*, (2015) ont trouvé des valeurs similaires à nos valeurs pour des huiles d'olive originaires de la région de la Chaouia-Maroc (10.96 à 18.7 méq O₂/ kg d'huile olive). Un indice de peroxyde élevé est le résultat d'une oxydation poussée et à la production de composés secondaires d'oxydation dont certains ont été prouvés nuisibles à la santé (aldéhydes, cétones, radicaux libres, hydroperoxydes) (Chimi, 2001).
- L'indice de saponification (**IS**) est une mesure indirecte de la masse molaire des acides gras. Il permet de classer les huiles en fonction de la longueur des chaînes d'acides gras qui les composent. Plus le poids moléculaire (PM) est élevé, plus l'indice de saponification est

faible. En effet, plus le PM est élevé plus les chaînes carbonées des acides gras sont longues et moins hydrolysables. Ceci rend compte que l'IS varie inversement avec le PM des lipides (Bentekaya et Hassouna., 2007). L'indice de saponification des 2 échantillons de l'huile des grains de chia Brésil et de Mexique étudiés est 184.66 ; 143.52 (mg KOH/ g d'huile) respectivement, ces valeurs sont inférieures par rapport aux huiles obtenues à partir de graines de chia d'Argentine et Guatémaltèque (193 mg KOH/g d'huile) (Ixtaina *et al.*, 2011), même constatation par rapport à celles obtenues par (Maira Rubi *et al.*, 2014) (222,66 mg KOH/g d'huile) pour chia de Mexique. En outre L'indice de saponification enregistré dans nos huiles était plus faible que celui rapporté par Codex stan; 2003 et Codex Alimentarius Stan 1989 pour le tournesol (188 - 194 mg KOH/g huile), le carthame (186 - 198 mg KOH/g huile), le soja (189 - 195 mg KOH/ g d'huile) et d'huile d'olive vierge (184 - 196 mg de KOH/g d'huile). Selon (Adrien *et al.*, 2000) l'indice de saponification est inversement proportionnel à la longueur de chaîne des acides gras. Cela suggère que l'huile de chia de Brésil et Mexique est constituée d'acides gras de poids moléculaire supérieure à ceux de tournesol, de carthame, de soja, d'huile d'olive vierge, et l'huile de chia de l'Argentine et Guatémaltèques.

- L'indice d'iode donne une indication globale de l'insaturation de l'huile. Il est en rapport direct avec le degré d'oxydation d'une huile, plus une huile est insaturée plus son indice d'iode est plus élevé (Wolff, 1968). Les résultats obtenus montrent que les échantillons de Brésil et Mexique ont un indice d'iode légèrement similaire, ils sont respectivement de (8,21 ; 8,29 gI /100g de l'huile). Selon (Maira Rubi *et al.*, 2014) Les valeurs de nos échantillons est plus faibles par rapport à l'indice d'iode de l'huile de chia de Mexique enregistré (193,45 gI /100g de l'huile) et plus supérieur selon Ixtaina *et al.*, (2011) (1.4763gI /100g de huile). L'huile de chia de nos échantillons a montré un indice d'iode inférieure à celui rapporté par le Codex stan ,2003 dans le tournesol (118,141 g I/100 g d'huile), le carthame (136 - 148 g I/100 g d'huile) et le soja (124 - 139 g I/100 g d'huile) ainsi que celle rapportée par (Codex Alimentarius Stan 1989) dans de l'huile d'olive vierge (75 - 95 g I/100 g d'huile). De plus, il est trop faible par rapport à ce qui a rapporté Hosseinian *et al.*, 2004 dans l'huile de lin (187 g I/100 g d'huile). Ces différences dans les résultats pourraient être dues à la méthode d'extraction, et/ou au génotype et aux conditions agronomiques des graines de chia.

- L'examen spectrophotométrique dans l'ultraviolet peut fournir des indications sur la qualité d'une matière grasse, sur son état de conservation et sur les modifications dues aux processus technologiques (Bamouh, 2001). Les coefficients d'extinction spécifiques, calculés à partir des absorbances à 232 et 270 nm dans le spectre UV-visible peut être utilisé pour quantifier le degré d'oxydation des huiles. En général, la valeur du coefficient d'extinction à 232 nm (K_{232}) est associée aux étapes primaires et intermédiaires de l'oxydation de l'huile, tandis que le coefficient d'absorption à 270 nm (K_{270}) est lié à l'étape secondaire de l'oxydation de l'huile. (Yakindara *et al.*, 2017). Les résultats obtenus de la détermination du coefficient d'extinction des deux échantillons (Brésil) et de (Mexique) de huile de chia étudiés est représenté dans le tableau VI.
- Les valeurs des absorbances obtenues à 232 nm(K_{232}) de huile de chia de Brésil sont plus proche (1,741) que l'huile de Mexique (1,658). Ces résultats sont similaires aux valeurs trouvées par Yakindara *et al.*, (2017) dont ils ont travaillé sur l'huile de graine de chia australienne et ont trouvé une valeur égale à 1,62.
- Les résultats obtenus à 270 nm(K_{270}) montrent que l'huile de Brésil et de Mexique ont des valeurs des absorbances légèrement différentes, elles sont respectivement de (0,387 et 0,402). Ces résultats sont aussi similaires aux valeurs trouvées par Yakindara *et al.*, (2017).
- La détermination de la densité d'une huile nous renseigne sur la pureté. Elle est fonction de la composition chimique des huiles et de la température (Karleskind, 1992). Dans notre étude, nous avons déterminé ce critère de pureté à une température de 20°C chez les deux variétés de chia de Brésil et Mexique. On a trouvé que les deux valeurs sont proches entre eux (0,8859) et (0,9006) respectivement. Les résultats sont similaires à celles de l'huile d'olive (0,91), de l'huile de tournesol (0,92); et de l'huile de lin (0,93). (O'brien, 2008 ; Young, 1986). Les résultats de notre étude sont aussi similaires aux travaux de (Segura-Campos *et al.*, 2014) (0,9241) . Selon Alvarado et Aguilera, (2001), la densité relative est élevée quand la teneur en insaturation dans les acides gras est élevée. Les résultats obtenus ici suggèrent que le chia a un nombre élevé d'acides gras insaturés, ce qui est cohérent avec les résultats rapportés par Tosco, (2004).
- Les caroténoïdes sont des pigments liposolubles, fortement insaturés d'origine végétale, largement distribués dans la nature, plus de 800 molécules ont été identifiées à ce jour (Fazel *et al.*, 2008), une cinquantaine de caroténoïdes sont susceptibles d'être métabolisés

en vitamine A (action pro vitaminique A). Les plus connus et utilisés en agroalimentaires sont : le β -carotène, le lycopène, la lutéine, la bixine et l'anatto. Nos résultats révèlent que les deux échantillons de Brésil et de Mexique de l'huile de chia renferme une quantité convergente de caroténoïdes totaux soit respectivement (5,13 ; 4,98). Ces résultats sont plus faibles par rapport aux caroténoïdes totaux des graines de chia de Brésil de Bárbara *et al.*, (2016) qui ont trouvé une valeur égale à 57.01 (mg/kg), même constatation pour le travail de Hong *et al.*, (2021) qui ont trouvé une valeur de 7.13 mg/Kg qui ont travaillé sur l'huile de lin.

- Les résultats du dosage de Chlorophylles dans l'huile de graines de chia sont présentés dans le tableau VI. Les résultats de notre étude sont très proches (4,66 ; 4,01). Ces valeurs sont inférieures aux valeurs de (Uzunova *et al.*, 2016) qui ont trouvé la valeur de 22,08 $\mu\text{g/ml}$ pour l'huile de chia d'Argentine. Par contre elles sont supérieures à l'huile d'olive après purification (0,05 $\mu\text{g/ml}$) (Ben Tekaya et Hassouna, 2007).
- Les résultats des polyphénols obtenus présentés dans le tableau VI montrent que nos résultats des deux échantillons (Brésil ; et de Mexique) d'huile de chia sont presque similaires soit 3,91 ; 3,89 mg EGA/gMS. Les phénols totaux des huiles de chia dans nos résultats étaient supérieurs par à ce que Ben Moussa *et al.*, (2022) ont trouvé 2,6 mg EGA/gMS, ainsi que pour les valeurs déjà rapportées par Scapin *et al.*, 2011. Cependant, Reyes-Caudillo *et al.*, (2008) et Marineli *et al.*, (2014) ont trouvé des valeurs comprises entre 0,66 et 1,63 mg GAE/gMS. Ces différences dans les résultats pourraient être dues à la méthode d'extraction, et/ou au génotype et aux conditions agronomiques des graines de chia. Les valeurs obtenues d'huile de chia était significativement inférieure à celle mesurée par Aider et Martel, (2011) de graine de lin dans un extrait à l'éthanol à 95 % (14,4 mgEGA/g MS). Cependant, Terpinc *et al.*, (2012) ont rapporté seulement 0,12 et 0,9 mgEGA de composés phénoliques totaux par g de MS dans de l'éthanol à 96 %.
- Les flavonoïdes sont des métabolites secondaires responsables de la coloration des graines. Ils sont répartis en plusieurs classes : les flavones, les flavonols, les flavanones, les anthocyanines, les Flavanols. (Oomah *et al.*, 1996). L'analyse statistique ANOVA suivie par le test de Tukey n'a révélé aucune différence significative entre les échantillons. D'après les résultats obtenus, l'huile de chia de Brésil et de Mexique renferment des

teneurs similaires en flavonoïdes qui sont respectivement de 0,162 ; 0.159 (mg EQ/g MS) Ces résultats sont faibles par rapport à la teneur des flavonoïdes dans les graines de chia étudiées par Ben Mussa *et al.*, (2022) qui étaient les 1,17 mg QE/gMS. Bien que, Rahman *et al.*, (2017) ont rapporté que les flavonoïdes représentent 60% de polyphénols alimentaires dans les aliments végétaux. Cette variation peut être due aux mêmes facteurs cités précédemment pour les phénols totaux. L'huile de chia dans nos résultats ont montré une teneur en flavonoïdes plus proche que à celui rapporté par Bozena Stodolak *et al.*, (2016) dans le graine de lin (0,2 mg QE/gMS).

- Le tableau 6 montre l'activité antioxydante des huiles de graines de chia des deux variétés, Brésil et Mexique qui sont de 48,43 et 45,11% par la méthode DPPH. Le pourcentage d'inhibition de l'activité du radical DPPH dans les huiles de graines de chia a montré une différence significative ($p \leq 0,05$) en comparant les deux valeurs (Tepe *et al.*, 2006). Sargi *et al.*, (2013) ont rapporté que l'activité de piégeage des radicaux libres pour l'huile de graines de chia était supérieure à celle des graines de chanvre mais inférieure à celle des graines de lin. Les antioxydants de l'huile de graines de chia ont une grande capacité à piéger les radicaux libres DPPH. Cependant, le pourcentage d'inhibition de l'activité de piégeage des radicaux libres pour l'huile de graines de chia dans cette étude était plus faible que Martínez-Cruz et Paredes-López (2014). On note qu'il y'a une corrélation entre les composés phénoliques et les caroténoïdes pour réduire les radicaux libres DPPH par l'huile de graines de chia. Une corrélation positive démontre que les composés phénoliques et les caroténoïdes sont principalement responsables de l'activité de piégeage des radicaux libres de l'huile de graines de chia.

V.2.2. Analyse spectrale par infrarouge à transformée de Fourier (IRTF)

Les spectres infrarouges à transformé de fourier des huiles de chia sont présentés dans la figure 17.

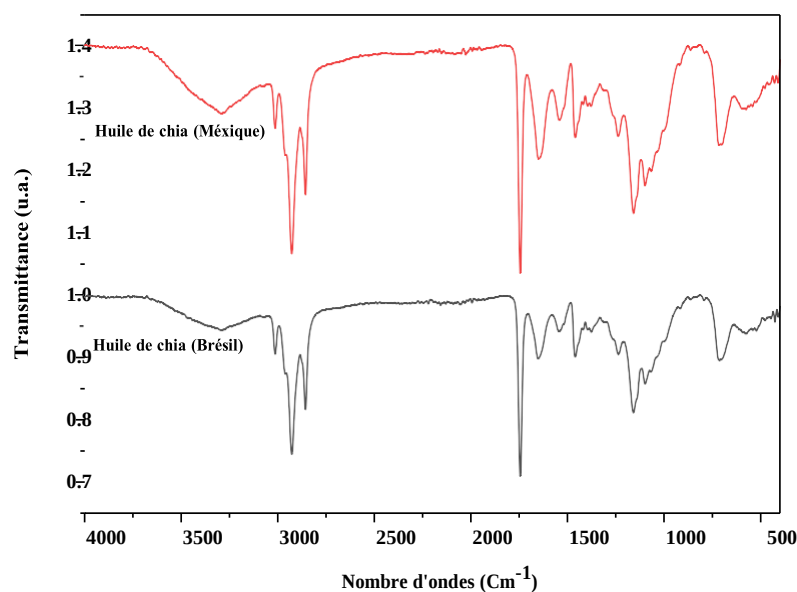


Figure 16 Spectres IRTF des huiles de chia

Les spectres FTIR (Figure 16) des huiles de grains de chia, présentent de fortes bandes de triplets dans la gamme $2928\text{--}2853\text{ cm}^{-1}$, qui sont attribuées à l'étirement C-H des squelettes méthyle et méthylène des lipides. En particulier, le pic distinctif à 3009 cm^{-1} a été causé par l'étirement C-H des liaisons cis-oléfiniques - HC=CH-, représentant les acides gras insaturés. La position de ce pic dépend fortement du nombre de doubles liaisons C=C conjuguées dans les acides gras de l'huile analysée, couramment utilisé pour déterminer le degré d'insaturation (Vongsivut *et al.*, 2014). Le haut degré d'insaturation observé (voir indice d'iode) est dû à une proportion significativement élevée ($\sim 55\%$) d'acide α -linoléique, qui contient 3 doubles liaisons C=C conjuguées dans sa structure. Il convient de noter que les spectres FTIR n'ont pas montré la bande d'étirement O-H à $\sim 3470\text{ cm}^{-1}$, ce qui indique la présence d'une quantité négligeable d'humidité dans ces huiles. Dans la région des nombres d'ondes faibles les spectres se composent d'un pic important à 1741 cm^{-1} dû à l'étirement du carbonyle C=O des groupes fonctionnels ester des lipides et des acides gras. Selon Guillen et Cabo, (1997), ce pic fournit une mesure des lipides totaux dans les huiles analysées, puisque le faible pic apparaissant à 1641 cm^{-1} , dû à l'étirement C=C des cis-oléfiniques. Les bandes superposées dans la gamme de $1458\text{--}1367\text{ cm}^{-1}$ sont dues à la combinaison des modes de déformation des groupes méthyle et des groupes méthylène. D'autres pics forts présents à 1174 et 1094 cm^{-1} sont la première bande qui représente l'étirement asymétrique combiné des liaisons (C-C(=O)-O) et (OC-C), tandis que la bande à 1094 cm^{-1} est associée à la déformation des groupes méthyles. à 1094 cm^{-1} est

associée à l'étirement symétrique des liaisons (C-O-C) des triglycérides et des esters. La bande la plus intense à l'extrémité inférieure des spectres, centrée à 707 cm^{-1} , est attribuée à la combinaison de la vibration de balancement et de la déformation hors du plan du méthylène dans les oléfines.

V.2.3. Détermination du profil en acides gras par GC-MS

La concentration des acides gras des deux variétés de chia est présentée dans le tableau VII.

Tableau VII Composition en acides gras de l'huile de chia (g/100 g).

Acide gras en %	Chia Brésil	Chia Mexique
C14 (Acide myristique)	0.036	5.832
C16 (Acide palmitique)	19.87	18.817
C18:0 (Acide stéarique)	24.118	7.06
C18:1 ω -9 (Acide oléique)	0.672	0.03
C18:2 ω -6 (Acide linolique)	0.711	0.04
C18:3 ω -3 (Acide α -linolénique)	54.395	68.125
C20:0 (Acide arachidique)	0.122	0.071
C22:0 (Acide béhénique)	0.075	0.026
Rapports et sommes		
Total des acides gras saturés	44.221	31.806
Total des acides gras polyinsaturés	55.106	68.165
Total des Acides gras monoinsaturés	0.672	0.03
ω -6/ ω -3	0.0131	.0...0

En termes d'industrie alimentaire et d'effets sur la santé, la graine de chia est considérée comme une source d'huile par de nombreux pays. Segura-Campos *et al.*, (2013) ont trouvé que la teneur totale en graisse de la graine de chia était de 34,88%. Une étude a montré que l'huile de chia contient 79,4 %, 10,8 % et 8,5 % d'acides gras polyinsaturés, d'acides gras saturés et d'acides gras monoinsaturés, respectivement, et aucun acide gras trans (Timilsena *et al.*, 2016). Dans une autre étude, il a été déterminé que les teneurs en acides gras monoinsaturés tels que l'acide oléique et en acides gras saturés tels que l'acide palmitique et l'acide stéarique sont respectivement de 2,9 à 16,2 % et de 6,5 à 7,5 % (Segura-Campos *et al.*, 2014). L'une des raisons de l'intérêt de la graine de chia est qu'elle contient beaucoup d'acides gras polyinsaturés dans sa structure. L'huile de chia

a la plus haute teneur en acide α -linoléique parmi toutes les sources naturelles connues (Ayerza ,1995 ; Coates et Ayerza ,1996). Des études ont montré que les graines de chia contiennent des quantités élevées de lipides, notamment de l'acide α -linoléique (540-670 g/kg) et de l'acide linoléique (120-210 g/kg) (Ixtaina *et al.*, 2011). Reyes-Caudillo *et al.*, ont souligné que la graine de chia est riche en acides gras polyinsaturés, notamment en oméga-3 (50-57 g/100 g) et en oméga-6 (17-26 g/100 g) (Reyes-Caudillo *et al.*, 2008). Il est indiqué que la consommation de 22,5-26,5 g/jour de graines de chia ou de 6,9-7,9 g/jour de lipides de chia suffira à couvrir les besoins en acides gras ω -3 d'un homme adulte qui a besoin de 2700 kcal/jour d'énergie (Ayerza *et al.*, 2011).

Conclusion

Conclusion

Le présent travail constitue une contribution à une meilleure connaissance de l'huile de graines de chia (Brésil et Mexique) afin de promouvoir sa mise en valeur.

L'analyse biochimique de la poudre des graines de chia (Brésil et de Mexique) a donné des teneurs en protéines et en matières grasses, très importantes conformes à celles trouvées par d'autres travaux.

Les analyses de structure et l'analyse thermique des poudres de Chia, ont révélé une bonne composition minéralogique de ces dernières, avec une structure microporeuse et une cristallinité similaire démontrée par les techniques **DRX** (diffraction par rayon X), **FRX** (fluorescence par rayon X), **MEB** (microscope à balayage électronique) et **ATG/DSC** (Analyse thermogravimétrie / Calorimétrie Différentielle à Balayage) respectivement.

L'analyse par spectrophotométrie à transformée de FOURRIER (**FTIR**), montre que les poudres de Chia examinées, comporte une composition très riche en glucides et en acide gras saturés et les acides gras mono et polys insaturés.

Les valeurs obtenues pour les différents indices physico-chimiques sont conformes à celles citées dans la littérature caractérisant les huiles végétales. Quant aux huiles extraites des graines de Chia (Brésil et Mexique), elles représentent des teneurs relativement faibles en indice d'acide et en indice de peroxyde, ce qui leur permet d'être conservées une longue durée et résister à l'oxydation.

Les analyses spectrales par GC-MS (chromatographie à gaz couplée à spectroscopie de masse), ont montré la richesse de ces dernières en acides gras insaturés, en phénol et en pigments colorés, avec une activité antioxydante très notable.

Les résultats montrent que l'huile de chia présente des propriétés physicochimiques intéressantes pour l'industrie alimentaire. Des acides gras tels que le pentadécanoïque, l'arachidonique et le docosahexaénoïque ont été enregistrés dans l'huile de chia et contiennent également plus de 60% d'acide α -linoléique et plus de 20% d'acide linoléique que les autres sources. Les résultats confirment que l'huile de chia est la source végétale ayant la plus forte teneur en acides gras essentiels. D'un point de vue physiologique, l'huile de chia est un ingrédient alimentaire potentiellement intéressant en raison de ses bienfaits pour la santé dus à sa teneur élevée en AGPI (Acide Gras Poly Insaturés).

Références bibliographiques

Références bibliographiques

-A-

- Adrian, J., Potus, J., Poiffait, A., and Douvillier, P., 2000. Análisis nutricional de los alimentos. Acribia. Zaragoza .2, 56-58.
- Aider, M., Martel, A.A., 2011. Bleaching of defatted flaxseed meal to improve its usage as ingredient in food applications. Int. J. Food Sci. Technol 46, 2297–2304.
- Alamri, Eman., 2019. The Influence of Two Types of Chia Seed on Some Physiological Parameters in Diabetic Rats, 7.
- Alexandre Guimarães-Inácio., Cristhian Rafael Lopes Francisco., Valquíria Maeda Rojas; Roberta Souza Leon., Patrícia Valderrama., Evandro Bona., Fernanda Vitória Leimann., Ailey Aparecia Coelho Tanamati., Odinei Hess Gonçalves., 2017. Evaluation of the oxidative stability of chia oil-loaded microparticles by thermal, spectroscopic and chemometric methods. PII: S0023-6438(17)30706-5 DOI: 10.1016/j.lwt.2017.09.031.
- Ali, N.M., Yeap, S.K., Ho, W.Y., Beh, B.K., Tan S.G., 2012. the promising future of Chia (*Salvia hispanica* L.). J. of Biomed. and Biotech.
- Alvarado, J., et Aguilera, J., 2001. Métodos para medir propiedades físicas en industrias d'alimentos. Éd. Acribie. Saragosse, Espagne, 15, 347-348. [Heure (s) de citation : 2].
- Audigie, C.I., Dupont, G., 1982. Principe des méthodes d'analyses biochimiques. pp 566-567.
- Ayerza, R., 1995. Oil content and fatty acid composition of chia (*Salvia hispanica* L.) from five northwestern locations in Argentina. Journal of the American Oil Chemists' Society, 72, 1079-1081.
- Ayerza, R., and Coates, W., 2001. The omega-3 enriched eggs: The influence of dietary linolenic fatty acid source combination on egg production and composition. Canadian Journal of Animal Science, 81, 355-362. <http://dx.doi.org/10.4141/A00-094>.
- Ayerza, R., Coates, W., 2004. Composition of chia (*Salvia hispanica*) grown in six tropical and subtropical ecosystems of South America. Trop. Sci. 44, 131–135.
- Ayerza, R., Coates, W., 2006. Chía redescubriendo UN olvidado alimento de los aztecas. Del Nuevo Extremo. Buenos Aires, Argentina. 232-240.

- Ayerza, R., and Coates, W., 2009. Influence of Environment on Growing Period and yield, Protein, Oil and α -Linolenic Content of Three Chia (*Salvia hispanica* L.) Selections. *Industrial Crops Products* 30, 321-324.
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2009.03.009>.

- Ayerza, R., Coates, W., 2011. Protein content, oil content and fatty acid profiles as potential criteria to determine the origin of commercially grown chia (*Salvia hispanica* L.). *Indust Crops Prod.* 34, 1366-71.

-B-

- Bamouh A., 2001. Qualité des huiles d'olive au Maroc. Enquête nationale et analyse aulaboratoire. *Bulletin Mensuel de liaison et d'information du PNTTA ; transfert de technologie en agriculture*, 79, 14-78.
- Bárbara Pereira da Silva., Pamella Cristine Anunciação., Jessika Camila da Silva Matyelka., Ceres Mattos Della Lucia., Hércia Stampini Duarte Martino., Helena Maria Pinheiro Sant Ana., 2016.chemical composition of Brazilian chia seeds grown in different places. Departamento de Nutrição e Saúde. Universidade Federal de Viçosa (UFV). Viçosa, Minas Gerais, 36570-900.Brazil.115.
- Bejaoui Amel. 2019. Réponses biochimiques de *Salvia hispanica* cultivée en conditions de salinité et valeur nutritionnelle de ses graines. Mémoire de master en biologie, Faculté des sciences université Elmanar. Tunisie.
- Bektas, T., Dimitra, D., Atalay, S., Munevver, S., Moschos, P., 2005. Antimicrobial and antioxidant activities of essential oil and various extracts of *Salvia tomentosa* Miller. *Food Chemistry*. 90, 333-340.
- Ben Moussa, O., Rouissi, E., Selmi, H., Boulares, M., Hassouna, M., 2022. Characterization of chia seeds, Research Unit 'Bio-Preservation and Valorization of Agricultural Products UR13-AGR 02', University of Carthage, Higher School of Food Industries, Tunisia Volume 7, Issue 1, 2022, Page No. 6-9.
- Ben Tekaya Imène., et Hassouna Mnasser., 2007. Effets des chlorophylles, du bêta-carotène, de l'alphatocophérol, du tyrosol et de leurs interactions sur la stabilité oxydative de l'huile d'olive tunisienne. Vol. 14 n° 1. Tunis. <http://www.ocl-journal.org> ou <http://dx.doi.org/10.1051/ocl.2007.0097>.
- Berto, B.M., Garcia, R.K.A., Fernandes, G.D., Barrera-Arellano, D., and Pereira, G.G., 2020. Linseed oil: Characterization and study of its oxidative degradation. *Fats and Oils Laboratory, Faculty of Food Engineering, University of Campinas – UNICAMP*, 13083-970 Campinas, SP, Brazil <https://doi.org/10.3989/gya.1059182>.

- Bochicchio, R., Philips, T.D., Lovelli, S., Galgano, F., Di Marisco, A., Perniola, M., Amato, M., 2015. Innovative Crop Productions for Healthy Food: The Case of Chia (*Salvia hispanica* L.). The Sustainability of Agro-Food and Natural Resource Systems in the Mediterranean Basin. Springer yield, 39-45.
- Boisclair., 2021. Le chia Une nouvelle culture pour la production. https://www.mapaq.gouv.qc.ca/SiteCollectionDocuments/Regions/LavalLanaudiere/C chia_LaurenceJochems-Tremblay.
- Boukhatem, L., 2019. Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles : revue de littérature Revue Agrobiologia 9(2), 1653-1659Algeria.
- Boulfane, S., Maata, N., Anouar, A., et Hilali, S., 2015. Caractérisation physicochimique des huiles d'olive produites dans les huileries traditionnelles de la région de la Chaouia-Maroc. Journal of Applied Biosciences, 87, 8022– 8029.
- Bourachouche, K., Boudei, A., 2017. caractérisation physico-chimique des huiles végétales alimentaires. Université a. mira – Bejaia.
- Boutayeb, Abdalilah. 2013. étude bibliographique sur les huiles végétales-université ibn tofail, Alegria.
- Bozena, S., Anna Starzy, N.J., wywrocka, A.G., and Agnieszka, w., 2016. Solid-state fermented flaxseed oil cake of improved antioxidant capacity as potential Food additive. Faculty of Food Technology, University of Agriculture in Krakow Balicka, Poland 122, 31-149. doi:10.1111/jfpp.12855
- Bresson, J.L., Flynn, A., Heinonen, M., 2009. Opinion on the safety of Chia seeds (*Salvia hispanica* L.) and ground whole Chia seeds, as a food ingredient. J Eur Food Safety Authority 996,1–26.
- Bruni, U., Cortesi, N., Fiorino, P., 1994. Influence des techniques culturales, des cultivars et des zones d'origine sur les caractères de l'huile d'olive vierge et les niveaux de certains de ces composants (mineurs) .Rev.Olivae,53,p 28-34.
- Bueno, M., Di Sapio, O., Barolo, M., Busilacchi, H., Quiroga, M., Severin, C., 2010. Análisis de la calidad de los frutos de *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae) comercializados en la ciudad de Rosario (Santa Fe, Argentina). Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas. 9(3), 221-7.

-C-

- Capitani, M.I; Spotorno, V., Nolasco, S.N., Tomás, M.C., 2012. Physicochemical and functional characterization of byproducts from chia (*Salvia hispanica* L.) seeds of Argentina. *LW. Food Sci. Technol.* 45(1), 94-102.
- Capitani, M.I., Nolasco, S.M., Tomás, M.C., 2013. Effect of mucilage extraction on the functional properties of Chia meals. *Muzzalupo Food Industry*. In *Tech. Croacia*, 421-437.
- Capitani, M.I., Ixtaina, V.Y., Nolasco, S.M., and Tomás, M.C., 2013. Microstructure, chemical composition and mucilage exudation of chia (*Salvia hispanica* L.) nutlets from Argentina. *J. Sci. Food Agric.* 93, 3856–3862 <https://doi.org/10.1002/jsfa.6327>.
- Chaib, F., Khenfer, A., 2013. synthèse de biodiesel par la transestérification des huiles commercialisées’’ thèse université de Ouargla.
- Chicco, A., Adriana, G., Maria, E., D’Alessandro., Gustavo, J., Hein Maria, E., Oliva., et Yolanda, B., Lombardo., 2008. Dietary Chia Seed (*Salvia Hispanica* L.) Rich in α -Linolenic Acid Improves Adiposity and Normalises Hypertriacylglycerolaemia and Insulin Resistance in Dyslipaemic Rats. *British Journal of Nutrition* 101 (1), 41-50.
- Chimi, H., 2001. Qualité des huiles d’olive au Maroc, enquête national et analyses au laboratoire. Transfert de technologie en agriculture. Bulletin mensuel d’information et de liaison du PNTTA. Département des sciences alimentaires et nutritionnelles IAV Hassan II, Rabat.
- Chimi, H., 2005. Conservation de l’huile d’argan et de l’huile d’olive. *Cahiers Agricultures*. P467-471.
- Coates W, Ayerza R., 1996. Production potential of Chia in northwestern Argentina. *Ind Crops Prod.* 5, 229-33.
- Codex Alimentarius Stan 33., 1989. Norma del Codex para los aceites de oliva vírgenes y refinados, y los aceites refinados de orujo de aceituna. [Heure(s) de citation : 1]
- Codex Alimentarius Stan 210, 2003. Norma del CODEX para Aceites Vegetales Especificados.

- Codex Standard., 1999. For Edible Fats and Oils Not Covered By Individual Standards.CodexAlimentariusCommission.<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>.
- Codex Mendoza 1542., 1925. Edition of francisco del paso and troncoso. Museo Nacional de Arqueologia, Historia y Etnografia, Mexico.
- Coelho., Michele Silveira., Rosana Aparecida Manólio., Soares Freitas., José Alfredo Gomes Arêas., Eliezer Avila Gandra., et Myriam de la Mercedes Salas-Mellado., 2018. Peptides from Chia Present Antibacterial Activity and Inhibit Cholesterol Synthesis. *Plant Foods for Human Nutrition*, 73(2), 101-107.
- COI.2017. Marché oléicole. Newsletter no 119.
- Commission of the European Communities., 2009.Commission regulation (EC) 827/2009. Official Journal of the European Union, 52, 12-13.

-D-

- Da Silva, B.P., Morais-Dias, D., de Castro Moreira, M.E., 2016.Chia seed shows good protein quality, hypoglycemic effect and improves the lipid profile and liver and intestinal morphology of Wistar rats. *Plant Foods Hum Nutr* 71, 225-30.
- De la Paz Salgado-Cruz, M., Calderon-Domínguez, G., Chanona-Pérez, J., Farrera Rebollo Reynold, R., Méndez-Méndez, J.V., Díaz-Ramírez, M., 2013. Chia (*Salvia hispanica* L.) Seed mucilage release characterisation. A microstructural and image analysis study. *Industrial Crops and Products* 51,453–462.
- Desagher, S., 1998.métabolisme, édition : ellipses, marketing, 41p.
- Di Sapio, B.O., Busilacchi, M.H., Quiroga, M., Severin, C., 2012. Caracterización morfoanatômica de hoja, tallo, fruto y semilla de *Salvia hispanica* L. *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*. 11(3),249-268.
- Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., & Vidal, N., 2006. Antioxidant activity of some algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food Chemistry*,97(4),654–660. doi: 10.1016/j.foodchem.2005.04.028.

E-

- Enes Bárbara Nery., Luiza de Paula Dias Moreira., Renata Celi Lopes Toledo., Érica Aguiar Moraes., Maria Eliza de Castro Moreira., Helen Hermana Miranda Hermsdorff ., Giuliana Noratto., Susanne Ursula Mertens-Talcott., Stephen Talcott.,

et Hércia Stampini Duarte Martino.,2020. Effect of Different Fractions of Chia (*Salvia Hispanica* L.) on Glucose Metabolism, in Vivo and in Vitro. Journal of Functional Foods

, 71 (août), 1040126. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104026>

-F-

- Fazel, M., Sahari, M., & Barzegar, M., 2008. Determination of Main Tea Seed antioxidants and their effects on Common Kilka oil. International Food Research Journal, 15 (2), 209-217.
- Fernandes, S.S., de las Mercedes Salas-Mellado, M., 2017. Addition of chia mucilage for reduction of fat content in bread and cakes. Food Chem 227, 237-44.
- Frenot, M., Vierling, E., 2001. biochimie des aliments. Diététique du sujet bien portant. Ed .Doin . Centre régional de documentation pédagogique d'Aquitaine. Bordeaux. p.297.

-G-

- Gazem Ramzi Abdulrashed Abdulkhaleq., Honnalagere Ramesh Puneeth., Chakkere Shivmadhu Madhu., et Angatahally Chandrashekariah Sharada., 2016. Physicochemical Properties and in Vitro Anti-Inflammatory Effects of Indian Chia (*Salvia Hispanica* L.) Seed Oil, 8.
- Gazem Ramzi Abdulrashed Abdulkhaleq., Honnalagere Ramesh Puneeth., Chakkere Shivmadhu Madhu., ET Angatahalli Chandrashekaraiah Sharada., 2017. in vitro anticancer and anti-lipoxygenase activities of chia seed oil and its blends with selected vegetable oils. Asian journal of pharmaceutical and clinical research. 10(10), 124. <https://doi.org/10.22159/ajpcr.2017.v10i10.19450>.
- Grancieri Mariana., Hercia Stampini Duarte Martino., et Elvira Gonzalez de Mejia., 2019. Chia Seed (*Salvia Hispanica* L.) as a Source of Proteins and Bioactive Peptides with Health Benefits: A Review: Bioactive Peptides in Chia Seed. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 18 (2), 480-499. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12423>.
- Grancieri, M., Martino, H.S., Gonzalez de Mejia, E., 2019. Chia Seed (*Salvia hispanica* L.) as a Source of Proteins and Bioactive Peptides with Health Benefits: A Review. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.
- Guesnetr, p., Alessandri, J.M., Astorg, P., Pifferi, F., Lavialle M., 2005. Les rôles physiologiques majeurs exercés par les acides gras polyinsaturés (agpi).ocl 12, p333-343.

- Guillén, M.D., Cabo, N. J., 1997. Oil Chem. Soc. Am. 74, 1282-1285.
- Guiotto, E.N., Ixtaina, V.Y., Tomás, M.C.M., and Nolasco, S.M., 2013. Moisture- dependent engineering properties of chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. In: Food Industry. INTECH. pp. 381-397.
- Guo, B., Zou, Q., Lei, Y., Du, M., Liu, M., Jia, D., 2008. Crystallization behaviour of PA6: Halloysite nanotubes nanocomposites, Vol. 484.
- Güzel Sevda., Mahmut Ülger., et Yusuf Özey., 2020. Antimicrobial and Antiproliferative Activities of Chia (*Salvia Hispanica* L.) Seeds. International Journal of Secondary Metabolite, juin, 174-180. <https://doi.org/10.21448/ijsm.722574>

-H-

- Hernandez, L.M., 2012. Mucilage from Chia Seeds (*Salvia Hispanica*): Microestructure, Physico-Chemical characterization and applications in Food Industry. PhD Thesis, Thesis submitted to the Office of Research and Graduate Studies in partial of the requirements for the Degree of Doctor in Engineering Sciences.
- Hernández-Pérez Talía., María Elena Valverde., Domancar Orona-Tamayo., ET Octavio Paredes-Lopez., 2020. Chia (*Salvia Hispanica*): Nutraceutical Properties and Therapeutic Applications. *Proceedings*, 53 (1), 17. <https://doi.org/10.3390/proceedings2020053017>.
- Ho, H., Lee A.S., Jovanovski, E., Jenkins, A.L., DeSouza, R., ET Vuksan, V., 2013. Effect of Whole and Ground Salba Seeds (*Salvia Hispanica* L.) on Postprandial Glycemia in Healthy Volunteers: A Randomized Controlled, Dose-Response Trial. European Journal of Clinical Nutrition, 67(7), 786-788. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2013.103>.
- Hong, W., Caisheng, Q., Yufu, W., and Xinbo, G., 2021. Biosynthesis and profiles of fatty acids, vitamin E and carotenoids during flax (*Linum usitatissimum* L.) seed capsule maturation. International Journal of Food Science and Technology. Guangzhou 510225, China.
- Hosseini, S. F., Zandi, M., Rezaei, M., and Farahmandghavi, F., 2013. Two-step method for encapsulation of oregano essential oil in chitosan nanoparticles: Preparation, characterization and in vitro release study. Carbohydr. Polym. 95, 50–56 <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.02.031>
- Hosseinian, F.S., Rowland, G.G., Bhirud, P.R., Dyck, J.H., and Tyler, R.T., 2004. Chemical composition and physicochemical and hydrogenation characteristics of

high-palmitic acid solin (low-linolenic acid flaxseed) oil. Journal of the American Oil Chemists' Society, 81, 185-188. <http://dx.doi.org/10.1007/s11746-004-0879-6>. [Citation Time(s):3]

- Huber Kristen., José, R., Fernández., Corey Webb., Karl Rouzard., Jason Healy., Masanori Tamura., Michael Voronkov., Jeffry B Stock., Maxwell Stock., et Eduardo Pérez., 2020. HYVIATM A Novel, Topical Chia Seed Extract That Improves Skin Hydration. *Journal of Cosmetic Dermatology*, 19 (9), 2386-2393. <https://doi.org/10.1111/jocd.13469>.

-I-

- Ixtaina, V. Y., Nolasco S.M., et Tomas M.C., 2008. Propriétés physiques des graines de chia (*Salvia hispanica* L.). *Cultures et produits industriels*, 28, 286- 293; <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.03.009>
- Ixtaina, V.Y., Andrea, V., Susana, M. N., Tomás, M.C., Miquel, G., Eduardo Bárzana., et Alberto Tecante., 2010. Supercritical Carbon Dioxide Extraction of Oil from Mexican Chia Seed (*Salvia Hispanica* L.): Characterization and Process Optimization. *The Journal of Supercritical Fluids*, 55 (1), 192-199. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2010.06.003>.
- Ixtaina, V.Y., Martínez, M.L., Sportono, V., Mateo, C.M., Maestri, D.M., Diehl BWK., Nolasco, S.M., et Tomas, M.C., 2011. Caractérisation des huiles de graines de chia obtenues par pressage et extraction par solvant. *Journal of Food Composition and Analysis*, 24, 166-174. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jfca.2010.08.006> [Citation Time(s):3]

-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>.
- Jin, F., Nieman, D.C., Sha, W., Xie, G., Qiu, Y., Jia, W., 2012. Supplementation of milled chia seeds increases plasma ALA and EPA in postmenopausal women. *Plant Foods Hum Nutr* 67, 105-10.
- Jørgensen, H., Knudsen, K.E.B; Lauridsen, C., 2012. Influence of different cultivation methods on carbohydrate and lipid compositions and digestibility of energy of fruits and vegetables. *J. Sci.Food Agric.* 92(14), 2876–2882.

-K-

- Karleskind A., 1992. *Manuel des corps gras*. Tome 2 Roman Ed. Tec et doc. Paris, P -1565.

- Kiritsakis, A.K., Christie, W., 2002. Analysis of Edible Oils. In: Handbook of Olive Oil. Analysis and Properties, Aspen Publishers, Inc., Gaithersburg, Maryland. USA, 129-158.
- Kobus Cisowska., Joanna Daria Szymanowska., Paulina Maciejewska., Dominik Kmiecik., Anna Gramza-Michałowska., Bartosz Kulczyński., et Judyta Cielecka Piontek., 2019. In Vitro Screening for Acetylcholinesterase and Butyrylcholinesterase Inhibition and Antimicrobial Activity of Chia Seeds (*Salvia Hispanica*). Electronic Journal of Biotechnology, 37, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2018.10.002>

-L-

- Lu, Y., Foo, L.Y., 2002. Polyphenolics of Salvia: A review. Phytochemistry. 59, 117-140.

-M-

- Maira Rubi Segura-Campos., Norma Ciau-Solís., Gabriel Rosado-Rubio., Luis Chel-Guerrero., David Betancur-Ancona., 2014. Caractérisation physico-chimique de l'huile de graines de chia (*Salvia hispanica*) du Yucatán. Facultad d'Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Mexique 43020,7. DOI:10.4236/as.2014.53025.
- Maira Rubi Segura Campos., Norma Ciau Solís., Gabriel Rosado Rubio ; Luis Chel Guerrero., David Betancur Ancona., 2017. Caractérisation physico-chimique de l'huile de graines de chia (*Salvia hispanica*) du Yucatán, Mexique. Facultad d'Ingeniería Química, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, México. Vol.5, No.3, 220-226 <http://dx.doi.org/10.4236/as.2014.53025>.
- Marineli, R.D.S., Moraes, É.A., Lenquiste, S.A., Godoy, A.T., Eberlin, M.N., Maróstica, M.R., 2014. Chemical characterization and antioxidant potential of Chilean chia seeds and oil (*Salvia hispanica* L.). LWT - Food Science and Technology, 59, 1304-1310.
- Martínez-Cruz, O., and 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. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2014.04.007>.
- Marineli Rafaela da Silva., Sabrina Alves Lenquiste., Érica Aguiar Moraes., et Mário Roberto Maróstica., 2015. Antioxidant Potential of Dietary Chia Seed and Oil (*Salvia Hispanica* L.) in Diet-Induced Obese Rats. Food Research International, 76 (octobre), 666-674. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.039>.

- Martha, G.C., Armando, R.T. and Carlos, A.A., 2012. A dietary pattern including nopal, chia seed, soy protein, and oat reduces serum triglycerides and glucose intolerance in patients with metabolic syndrome. *Journal of Nutrition*. 142, 64-69.<http://dx.doi.org/10.3945/jn.111.147447>.
- Martinez-Cruz, O., Paredes-López, O., 2014. Phytochemical profile and nutraceutical potential of chia seeds (*Salvia hispanica* L) by ultra-high-performance liquid chromatography. *J. Chromatogr.* A1346, 43–48.
- Mezouagh, Z., 2016. Contribution à l'étude physico-chimique des échantillons d'huile de tournesol et leur mélange .mémoire fin d'étude université de Tlemcen.
- Mínguez Mosquera, M.I., Rejano, L., Gandul, B., Sánchez, A.H., and Garrido, J., 1991. Colorpigment correlation in virgin olive oil. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 68(5), 332-336. <https://doi.org/10.1007/BF02657688>.
- Miller, G.L., 1959. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31(3), 426–428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>.
- Monroy-Tores, R., Mancilla-Escobar, M.L., Gallaga-Solórzano, J.C., Medina-Godoy, S., Santiago-García, E.J., 2008. Protein digestibility of chia seed. *Revista Salud Publicay Nutricion* 1, 9-1.
- Moreira, L., Dias, L.G., pereira, J.A., et Estevinho, L., 2008. Antioxidant properties, total phenols and pollen analysis of propolis samples from Portugal. *Food and chemical toxicology*. 46, 3482-3485.
- Muñoz, L.A., Aguilera, J.M., Rodríguez, T.L., Cobos, A., Díaz, O., 2012. Characterization and microstructure of films made from mucilage of *Salvia hispanica* and whey protein concentrate. *J. Food Eng.* 111(3), 511-518.
- Muñoz, L.A., Cobos, A., Díaz, O., Aguilera, J., 2012. Chia seeds: microstructure, mucilage extraction and hydration. *Journal of food Engineering*. 108 (1), 216-224.

- Muñoz, A., Harries, E., Contreras-Valenzuela, A., Carmona, L., Read, N.D., Marcos, J.F., 2013. Two functional motifs define the interaction, internalization and toxicity of the cell-penetrating antifungal peptide PAF26 on fungal cells.
doi: 10.1371/journal.pone.0054813.
- Mutar Hayder Ayyal., ET Jaafar Faez Kadhim Alsadooni., 2019. Antioxidant and anti-cancer activity of chia seed extract in breast cancer cell line. *Annals of Tropical Medicine and Public Health*, 22 (08), 173-181.
<https://doi.org/10.36295/ASRO.2019.220818>.

-N-

- Ndeye, A.K., 2001. Etude de la composition chimique et de la qualité d'huiles végétales artisanales consommées aux Senegal. Thèse pour l'obtention du grade de Docteur en pharmacie. Université de Dakar. p160.
- Nieman D.C., Cayea, E.J., Austin, M.D., Henson, D.A., McAnulty, S.A., ET Jin F., 2009. Chia Seed Does Not Promote Weight Loss or Alter Disease Risk Factors in Overweight Adults.
Nutrition Research, 29(6), 414-418.
<https://doi.org/10.1016/j.nutres.2009.05.011>.
- Norlaily, M.A., Swee, K.Y., Wan, Y.H., Boon, K., Sheau, W.T., Soon, G.T., 2012. The promising future of chia, *Salvia hispanica* L. *J Biomed Biotechnol* 171956, 1–9.

-O-

- Oliveira-Alves., Sheila Cristina., Débora Barbosa Vendramini-Costa., Cinthia Baú Betim Cazarin., Mário Roberto Maróstica Júnior., João Pedro Borges Ferreira., Andreia Bento Silva., Marcelo Alexandre Prado., et Maria Rosário Bronze., 2017. Characterization of Phenolic Compounds in Chia (*Salvia Hispanica* L.) Seeds, Fiber Flour and Oil. *Food*
- Olivos-Lugo., 2005. BL Estudio de las propiedades térmicas, funcionales y nutritivas de la fracción proteínica de la semilla de chia (*Salvia hispanica*), [Thèses non publiées] Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, 2005. [[Links](#) , México]
- Oomah, B.D., Mazza, G., & Kenaschuk, E.O., 1996. Flavonoids content of flaxseed. Influence of cultivar and environment.

Euphytica, 90(2), 163-167.

-P-

- Pandurangan, S.B., Al-Maiman, S.A., Al-Harbi, L.N., & Alshatwi, A. A., 2020. Beneficial Fatty Acid Ratio of *Salvia hispanica* L. (Chia Seed) Potentially Inhibits Adipocyte Hypertrophy, and Decreases Adipokines Expression and Inflammation in Macrophage. *Foods*, 9(3), 368. doi:10.3390/foods9030368
- Pelletier, M., Thomas, F., de Donato, P., Michot, L.J., and Cases, J.M., 1999. Infrared spectroscopic study of water vapor adsorption-desorption by homoionic montmorillonites. The bending mode. In *Clays for our future. Proceedings of the 11th International Clay Conference, Ottawa Canada*. Kodama, H., Mermut, A.R., Torrance, J.C. (Eds) 555-560.
- Peng, W., Wu, Q., and Tu, P., 2001. Pyrolytic characteristics of heterotrophic *Chlorella protothecoides* for renewable biofuel production. *J. Appl. Phycol.* 13, 5–12 <https://doi.org/10.1023/A:1008153831875>.
- Perrin, J.L., 1992. *corps grass. rev.Fr*, 1992.
- Pirisi, F.M., Cabras, P., Cao, C.F., Migliorini, M., Magelli, M., 2000. Phenolic compounds in virgin oil. 2. Reappraisal of the extraction HPLC separation, and quantification procedures. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, 1191–1196.
- Porra, R.J., Thompson, W.A., and Kriedemann, P.E., 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochem. Biophys. Acta* 975, 384–394. Doi: 10.1016/S0005-2728(89)80347-0
- Poudyal Hemant., Sunil Pancha, K.L., Jennifer Waanders., Leigh Ward., et Lindsay Brown., 2012. Lipid Redistribution by α -Linolenic Acid-Rich Chia Seed Inhibits Stearoyl-CoA Desaturase-1 and Induces Cardiac and Hepatic Protection in Diet- Induced Obese Rats. *The Journal of Nutritional Biochemistry* 23 (2), 153-162. <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2010.11.011>.

-R-

- Rahman Jiaur MD., Adriano Costa de Camargo., et Fereidoon Shahidi., 2017. Phenolic and Polyphenolic Profiles of Chia Seeds and Their in Vitro Biological Activities. *Journal of Functional Foods* 35, 622-634.
<https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.06.044>.
- Raimondi, G., Rouphael, Y., Di Stasio, E., Napolitano, F., Clemente, G., Maiello, R., Giordano, M., De Pascale, S., 2017. Evaluation of *Salvia hispanica* performance under increasing salt stress conditions. *Acta horticulturae*, 705–706.
- Ratti, C., 2001. Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review. *Journal of Food Engineering*, 49(4), 311–319.
doi:10.1016/s0260-8774(00)00228-4.
- Reales, A., Rivera, D., Palazón, J.A. and Obón, C., 2004. Numerical taxonomy study of *Salvia* sect. *Salvia* (labiatae). *Botanical Journal of the Linnean Society*. 145, 353 - 371.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1095-8339.2004.00295.x>.
- Reyes-Caudilo, E., Tecante, A., Valdivia-Lopez, M.A., 2008. Dietary fibre content and antioxidant activity of phenolic compounds present in Mexican chia (*Salvia hispanica* L.) seeds. *Food Chem.* 107, 656-663.

-S-

- Salgado-Cruz, M., Calderón-Domínguez, G., Chanona-Pérez, J., Farrera-Rebollo, R.R., MéndezMéndez, J.V., and Díaz-Ramírez, M., 2013. Chia (*Salvia hispanica* L.) seed mucilage release characterisation. A microstructural and image analysis study.
Ind. Crops Prod. 51: 453–462
<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.09.036>.
- Sargi, S.C., Silva, B.C., Santos, H.M.C., Montanher, P.F., Boeing, J.S., Santos Júnior, O.O., Souza, N.E. and Visentainer, J.V. (2013). Antioxidant capacity and chemical composition in seeds rich in omega-3: chia, flax, and perilla. *Food Science and Technology*, 33(3), 541–548. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612013005000057>.
- Scapin, G., Schmidt, M.M., Prestes, R.C., Rosa, C.S., 2011. Phenolics compounds, flavonoids and antioxidant activity of chia seed extracts

(*Salvia hispanica*) obtained by different extraction conditions. International Food Research Journal 23(6), 2341-2346.

- Segura-Campos, M.R, Salazar-Vega, I.M, Chel-Guerrero, L.A, Betancur-Ancora, D.A., 2013. Biological potential of chia (*Salvia hispanica* L) protein hydrolysates and their incorporation into functional foods. LWT-Food Sci Technol 50, 723-31.
- Silva Bárbara Pereira da., Desirrê Morais Dias., Maria Eliza de Castro Moreira., Renata Celi Lopes Toledo., Sérgio Luis Pinto da Matta., Ceres Mattos Della Lucia., Hércia Stampini Duarte Martino., et Helena Maria Pinheiro-Sant'Ana., 2016. Chia Seed Shows Good Protein Quality, Hypoglycemic Effect and Improves the Lipid Profile and Liver and Intestinal Morphology of Wistar Rats. Plant Foods for Human Nutrition, 71(3), 225-230. <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0543-8>.
- Silva Bárbara Pereira da., Pamella Cristine Anunciação., Jessika Camila da Silva Matyelka., Ceres Mattos Della Lucia., Hércia Stampini Duarte Martino., et Helena Maria Pinheiro-Sant'Ana., 2017. Chemical Composition of Brazilian Chia Seeds Grown in Different Places. Food Chemistry 221, 1709-1716. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.10.115>.
- Silva Bárbara Pereira da., Renata Celi Lopes Toledo., Mariana Grancieri., Maria Elizade Castro Moreira., Natália Ramirez Medina., Roberta Ribeiro Silva., Neuza Maria Brunoro Costa., et Hércia Stampini Duarte Martino., 2019. Effects of Chia (*Salvia Hispanica* L.) on Calcium Bioavailability and Inflammation in Wistar Rats. Food Research International 116, 592-599. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.078>.
- Silveira Coelho., Michele., et Myriam De Las Mercedes Salas-Mellado., 2014. Chemical Characterization of CHIA (*Salvia Hispanica* L.) for Use in Food Products. Journal of Food and Nutrition Research, 2(5), 263-269. <https://doi.org/10.12691/jfnr-2-5-9>.
- Solinas, M., 1992. Les principes d'extraction de l'huile d'olives. Rev olivae, n°42, pp, 31-35.
- Sultana, C., 1996. Oleaginous flax. In Karleskind, A. and Wolff, J.P., Eds., Oils and Fats Manual, 157-160.

- Steffolani, E., De La Hera, E., Perez, G., Gomez, M., 2014. Effect of chia (*Salvia hispanica* L.) addition on the quality of gluten-free bread. *J. Food Qual.* 37, 309–317.

-T-

- Tchiegang, C.A., Ngo Oum, M.A; Dandjouma, A.B., Kapseu, C., 2004. Qualité et stabilité de l'huile extraite par pressage des amandes de *Ricinodendron heudelotii* (Bail.) Pierre ex Pax pendant la conservation a température ambiante. *Journal of Food Engineering* 62 ,69-77.
- Tepe, B., Sokmen, M., Akpulat, H.A. and Sokmen, A., 2006. Screening of the antioxidant potentials of six *Salvia* species from Turkey. *Food Chemistry*, 95(2), 200– 204. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.031>.
- Terpinc, P., Ceh, B., Poklar Ulrih, N., Et Abramovi, C.H., 2012. Studies of the correlation between antioxidant properties and the total phenolic content of different oil cake extracts. *Ind. Crop. Prod* 39, 210–217.
- Timilsena, Y.P., Adhikari, R., Barrow, C.J., Adhikari, B., 2016. Microencapsulation of chia seed oil using chia seed protein isolate- chia seed gum complex coacervates. *IntJ Biol Macromol.* 91,347-57.
- Ting, I.P., Brown, J.H., Naqvi, H.H., Estilai, A., Kummamamoto, J., Matsumura, M.,1990. Chia A potential oil crop for arid zones. In: Naqvi HH, Estilai A, Ting IP, editors. *New Industrial Crops and Products*. Tucson, AZ: Universityof Arizona, 197-200.
- Toscano Luciana Tavares., Cássia Surama Oliveira da Silva., Lydiane Tavares Toscano., Antônio Eduardo Monteiro de Almeida., Amilton da Cruz Santos., et Alexandre Sérgio Silva., 2014. Chia Flour Supplementation Reduces Blood Pressure in Hypertensive Subjects. *Plant Foods for Human Nutrition* 69(4), 392-398.<https://doi.org/10.1007/s11130-014-0452-7>.
- Tosi, E.A., Cazzoli, A.F., et Tapiz, L.M., 1998. Phosphore dans l'huile. Production de dérivé de bleu de molybdène à température ambiante à l'aide de réactifs non cancérigènes. *Journal de l'American Oil Chemists' Society* 75, 41- 44. <http://dx.doi.org/10.1007/s11746-998-0007-x> [Citation Time(s):1]

-U-

- UllahR Nadeem, M., Ayaz, M., Imran, M., Tayyab, M., 2016. Fructionation of Chiaoil forenrichment of Omega 3 and 6 Fatty Acids and Oxidative Stability of Fractions. Food Sci. Biotechnol 25 (1), 41-47.
- Uribe, J.A.R., Perez, J.I.N., Kaul, H.C., Rubio, G.R., Alcocer, C.G., 2011. Extraction of oil from chia seeds with supercritical CO₂. J Supercrit Fluids 56(2), 174–178.
- USDA National Nutrient Database for Standard Reference Release 28 (2011). Basic report 12006, seeds, Chia seeds, dried. Report date : January 11, 2016.
- Uzunova, G., Nikolova, K.R., Perifanova¹, M., Gentscheva, G., Marudova, M., Antova, G., 2016. Physicochemical characterization of chia (*Salvia hispanica*) seed oil from Argentina. Bulgarian Chemical Communications ; Volume 48 ; Special Issue G (pp. 131-135).

-V-

- Van Soest, J.J.G., Tournois, H., de Wit, D., Vliegthart, J.F.G., 1995. Short-range structure in (partially) crystalline potato starch determined by Fouriertransform IR spectroscopy. Carbohydr. Res. 279, 201–214.
- Valenzuela, C., Abugoch, L., & Tapia, C., 2013. Quinoa protein–chitosan–sunflower oil edible film: Mechanical, barrier and structural properties. LWT - Food Science and Technology, 50(2), 531–537. Doi :10.1016/j.lwt.2012.08.010.
- Vasquez Roncero, A., Janer Del Valle, C., Janer Del Valle, M.L., 1973. Determination de los polifenoles totales del aceite d’Oliva. Grasas y Aceites, 24(6), 350–357.
- Vedtofte, M.S., Jakobsen, M.U., and Lauritzen, L., 2011. Dietary alpha linoleic acid, linoleic acid and n-3 longchain PUFA and risk of ischemic heart disease. The American Journal of Clinical Nutrition. 94, 1097-1103. <http://dx.doi.org/10.3945/ajcn.111.018762>
- Vongsvivut, J., Miller, M.R., McNaughton, D., Heraud, P.H., Barrow, C.J., 2014. Food Bioprocess Technol 7, 2410–2422.

- Vuksan, V., Jenkins, A.L., Dias, A.G., Lee, A.S., Jovanovski, E., Rogovik, A.L., Hanna, A., 2010. Reduction in Postprandial Glucose Excursion and Prolongation of Satiety: Possible Explanation of the Long-Term Effects of Whole Grain Salba (Salvia Hispanica L.). *European Journal of Clinical Nutrition* 64(4), 436- 438. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2009.159>.
- Vuksan, V., Jenkins, A.L., Brissette, C., Choleva, L., Jovanovski, E., Gibbs, A.L., Bazinet, R.P., 2017. Salba-Chia (Salvia Hispanica L.) in the Treatment of Overweight and Obese Patients with Type 2 Diabetes: A Double-Blind Randomized Controlled Trial. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases* 27 (2), 138-146. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2016.11.124>.
- Vuksan, V., Choleva, L., Jovanovski, E., Jenkins, A.L., Au-Yeung, F., Dias, A.G., Ho H.V.T., Zurbau, A., ET Duvnjak, L., 2017. Comparison of Flax (Linum Usitatissimum) and Salba-Chia (Salvia Hispanica L.) Seeds on Postprandial Glycemia and Satiety in Healthy Individuals: A Randomized, Controlled, Crossover Study. *European Journal of Clinical Nutrition* 71(2), 234-238. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.148>.

-W-

- Weil, J.H., 1995. *biochimie générale*. 7ème édition, paris, p239.

-Y-

- Yakindra, P.T., Jitraporn, V., Raju, A., Benu, A., 2017. Physicochemical and thermal characteristics of Australian chia seed oil. A School of Science, RMIT University, Melbourne, VIC 3083, Australia. Journal homepage: www.elsevier.com/locate/foodchem. *Food Chemistry* 228, 394–402.
- Yu, L., 2001. Amorphous pharmaceutical solids: preparation, characterization and stabilization. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 48(1), 27–42. Doi :10.1016/s0169-409 x (01)00098-9.

Références Webographies

- Site 1: <http://www.naturallivingideas.com/grow-chia-seeds/>

- Site 2 : <https://www.chiadefrance.org/>
- Site 3 : www.chiagrowers.com

Résumé

Cette étude a pour but, analyser la composition physico-chimique des poudres et huile de chia de deux variétés : Brésilienne et Mexicaine. L'analyse des poudres a révélé qu'elle est riche en protéines 20%, en lipides 34%, cette pseudo céréale est dépourvue du gluten : une protéine indésirable pour les gens qui présentent une intolérance au gluten (maladie cœliaque). L'analyse de l'huile extraite à froid par pression montre que cette fraction est riche en caroténoïdes 5mg/Kg, en chlorophylles 4,66µg/ml, en Polyphénols 4mgEGA/gMS et possède un pouvoir antiradicalaire allant jusqu'à 49%. Elle possède un profil en acide gras très riche et elle est la seule huile qui renferme le taux le plus élevé en acide gras α -linolénique C18 :3 (ω 3) allant jusqu'à 70%.

Mots clés : Huile de chia, *Salvia hispanica*, IFTR, pouvoir antioxydant, GC-MS.

Abstract

This study aims to analyze the physicochemical composition of chia powders and oil of two varieties: Brazilian and Mexican. The analysis of the powders revealed that it is rich in protein 20%, lipids 34%, this pseudo cereal is free of gluten: an undesirable protein for people with gluten intolerance (celiac disease). The analysis of the oil extracted by cold pressing shows that this fraction is rich in carotenoids 5mg/Kg, in chlorophylls 4,66µg/ml, in Polyphenols 4mgEGA/gMS and has an antiradical activity going up to 49%. It has a very rich fatty acid profile and is the only oil that contains the highest level of fatty acid α -linolenic C18:3 (ω 3) up to 70%.

Key words: chia oil, *Salvia hispanica*, IFTR, antioxidant power, GC-MS.

ملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تحليل التركيب الفيزيائي والكيميائي لمساحيق وزيت صنفين من الشيا: البرازيلي والمكسيكي. أظهر تحليل المساحيق أنها غنية بالبروتين بنسبة 20٪ ، والدهون 34٪ ، وهذه الحبوب الزائفة خالية من الغلوتين: وهو بروتين غير مرغوب فيه للأشخاص الذين يعانون من حساسية الغلوتين (مرض الاضطرابات الهضمية). يُظهر تحليل الزيت المستخرج بالضغط البارد أن هذا الجزء غني بالكاروتينات 5 مجم / كجم ، والكلوروفيل 4.66 ميكروجرام / مل ، وبوليفينول 4 مجمEGA / جم وله قوة مضادة للأكسدة تصل إلى 49٪. يحتوي على نسبة عالية من الأحماض الدهنية وهو الزيت الوحيد الذي يحتوي على أعلى معدل من حمض ألفا لينولينيك الدهني (C18:3) ω 3 حتى 70٪.

الكلمات المفتاحية: زيت الشيا ، سالفيا هيسبانيكا ، IFTR ، قوة مضادات الأكسدة ، GC-MS.