

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE : SCIENCES

DEPARTEMENT : SNV

N° : .....



DOMAINE : SNV

FILIERE : BIOTECHNOLOGIE

OPTION : BIOTECHNOLOGIE

VEGETALE

Mémoire Présenté pour l'Obtention  
du Diplôme de Master Académique

Par:

MIMOUNE Oumayma

Intitulé

**QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd.) : CARACTERISATION  
CHIMIQUE, INTERET NUTRITIONNEL ET PROPRIETES  
PHARMACOLOGIQUES**

Soutenu le : ..../Juin/ 2023

Devant le jury composé de :

BOUNAR Rabah.....Professeur.....UMB-Msila.....Président

BENDERRADJI Laid.....Professeur.....UMB-Msila.....Encadreur

BELKASSAM A/Ouahab.....MCA.....UMB-Msila.....Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

## Remerciements

Au debut de ce mémoire, je remercie Dieu qui m'a donné le courage et la volonté pour arriver à ce stade.

Je tiens à exprimer ma sincère gratitude au Professeur BENDERRADJI Laid, d'avoir accepté de dériquer ce travail, Je vous salue du fond du cœur mon cher professeur.

J'exprime mes remerciements aux membres de jury : Professeur BOUNAR Rabah et Docteur BELKASSAM Abdelouahab, pour l'honneur qu'ils m'ont fait, d'avoir accepté le jugement de mon travail

Je remercie tout ce qui a contribue de près ou de loin pour la réalisation de ce travail

Merci

Oumayma

# Dédicaces

aux deux plus chères personnes de ma vie

À mon Père

MIMOUNE Nadir

source de ma joie

et mon Courage d'avancer

À ma très chère Maman

ATTALLAH Baya

A la personne la plus proche de mon cœur

À mon mari

CHOUFAOUI Ammar

## **Liste des abréviations**

**FAO** : Food Alimentary Organization

**HU** : Unités provoquant l'hémagglutination.

**TIU** : Unité Inhibant la Trypsine .

## Liste des Figures

Intitulé de la figure	P
Figure 1 : Culture de quinoa dans les plaines des cordillères des Andes .	3
Figure 2: Carte de localisation de lac Titicaca (Martínez et <i>al.</i> , 2015).	3
Figure 3: Racine de quinoa (Boukhalat & chellali, 2021) .	5
Figure 4 : Tige de quinoa	6
Figure 5: Types des ramifications de quinoa(Jacobsen & Stolen, 1993) .	6
Figure 6: Variation de nombre de dents dans les feuilles de quinoa	7
Figure 7: Hermaphrodite fleur et femelle de quinoa (Herminio Gandarillas, 1968)	7
Figure 8: Panicule de quinoa	8
Figure 9: Formes d'inflorescence de quinoa : (A) Glomérulaire (B) Amaranthiforme	8
Figure 10: Variété de couleur de quinoa (Herbillon, 2015) .	9
Figure 11: Structure de graine de quinoa	9
Figure 4 : Effet du mildiou sur les feuilles de quinoa (Hoggui & Khaled, 2019)	14
Figure 5: Attaque des tiges et feuilles de quinoa par les larves « Quema Quema »	14
Figure 6: Larve « Polilla de la quinoa » attaque les feuilles et panicules	15
Figure 15. Récolte du quinoa	19
Figure 16. Récolte mécanisée	20
Figure 7: Acides aminés de quinoa comparativement à d'autres céréales (mg/100g)	23
Figure 18. Lipides polaires présents dans les graines entières de quinoa	27
Figure 8 : Comparaison entre le contenu des minéraux dans le quinoa avec d'autres céréales (mg/100g).	28
Figure 9 : Teneur en vitamines de la graine de quinoa avec d'autres céréales (µg/g)	30

## Liste des Tableaux

Intitulé du tableau	P
Tableau 1: Classification scientifique de cronquiste 1981	4
Tableau 2 : Phénologie du quinoa (Lebonvallet, 2008)	10
Tableau 3: Banques de gènes du quinoa en Amérique du Sud (Rojas, 1998)	11
Tableau 4: Exigences de température et de humidité selon les groupes agro-écologiques de quinoa (Tapia, 1997) .	13
Tableau 5: Mécanismes de résistance du quinoa à la sécheresse (Mujica et <i>al.</i> , 2001)	16
Tableau 6: Mécanismes de résistance et de tolérance du quinoa à la sécheresse et au froid (Mujica et <i>al.</i> , 2001).	16
Tableau 7: Différentes compositions des acides aminés et la teneur protéique de quinoa comparativement avec d'autres céréales en (mg/100g)	23
Tableau 8: Estimation du pourcentage de matières grasses dans différentes parties des graines de quinoa (%) (Kozioł, 1992)	26
Tableau 9: Comparaison de la composition en acides gras entre le blé le maïs et des graines de quinoa, (g/100g) (Alvarez-Jubete et <i>al.</i> , 2010; Valencia-Chamorro, 2003)	27
Tableau 2: Comparaison entre le contenu de minéraux du quinoa l'autres céréales (mg/100g)	28
Tableau 3: Comparaison des vitamines de la graine de quinoa avec d'autres céréales (µg/g)	29
Tableau 4: Teneurs en macronutriments du quinoa et d'autres aliments (pour 100g de poids sec) (Kozioł, 1992)	32
Tableau 5 : Valeurs énergétiques et nutritionnelles pour 100 g de quinoa (FAO, 2014)	32

# Résumés

## **Résumé**

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) un pseudocéréale classé par phylogénétique de la famille des Amaranthaceae. le quinoa est une plante herbacée d'origine d'Amérique du Sud, cette espèce est caractérisée par une excellente capacité d'adaptation dans les difficiles conditions écologiques. Les autochtones domestiqués le quinoa il y a plusieurs milliers d'années, mais maintenant, le monde redécouvre cette culture, notamment pour sa haute teneur en protéines et son excellent équilibre en acides aminés essentiels. Cependant, il a l'inconvénient de contenir des substances dites "anti-nutritionnelles" qui affectent négativement la croissance, la digestion et la conversion alimentaire. Par conséquent, il devrait être éliminé. Le quinoa est sans gluten et fait désormais partie intégrante du régime alimentaire des personnes avec les maladies coeliaques. De plus, il contient de nombreux composés bioactifs et fait l'objet de recherches scientifiques actives sur ses différents effets thérapeutiques. Cette étude révèle les aspects botaniques, fournit un examen complet et à jour les compositions chimiques des graines de quinoa et leur valeur nutritive, et énumère les utilisations pharmacologiques et l'importance nutritionnelles de ces composés bioactifs. De plus, les effets des compositions anti-nutritionnelles sont examinés, ainsi que les différents moyens utilisés pour les éliminer. En mettant en lumière les plusieurs bienfaits de ces compositions chimiques, l'étude vise également à souligner l'importance que cet aliment peut avoir pour le monde entier à l'avenir, notamment dans la malnutrition et les luttes contre les faims. Non seulement cela, mais aussi pour mettre en évidence son potentiel en tant qu'aliment fonctionnel pour lutter contre les maladies de plus en plus courantes de la civilisation.

**Mots clés:** Quinoa, caractérisation chimique, utilisation nutritionnelle, propriétés, activité

## **ملخص**

الكيinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) هي حبوب كاذبة مصنفة نسيئاً من عائلة Amaranthaceae الكيinoa نبات عشبي موطنه أمريكا الجنوبية ، ويتميز هذا النوع بقدرة ممتازة على التكيف مع الظروف البيئية الصعبة. قام الأمريكيون الأصليون بتدجين الكيinoa منذ آلاف السنين ، ولكن العالم الآن يعيد اكتشاف هذا المحصول ، خاصة بسبب محتواه العالي من البروتين والتوازن الممتاز للأحماض الأمينية الأساسية. ومع ذلك ، فإن له عيوباً في احتوائه على ما يسمى بالمواد "المضادة للتغذية" التي تؤثر سلباً على النمو والهضم وتحويل الأعلاف. لذلك ، يجب القضاء عليه. الكيinoa خالية من الغلوتين وهي الآن جزء لا يتجزأ من النظام الغذائي للأشخاص الذين يعانون من مرض الاضطرابات الهضمية. علاوة على ذلك ، فهو يحتوي على العديد من المركبات النشطة بيولوجياً وهو موضوع بحث علمي نشط حول آثاره العلاجية المختلفة. تكشف هذه الدراسة عن الجوانب النباتية ، وتقديم مراجعة شاملة وحديثة للتركيبات الكيميائية لبذور الكيinoa وقيمتها الغذائية ، وتسرد الاستخدامات الدوائية والأهمية الغذائية للمركبات النشطة بيولوجياً. بالإضافة إلى ذلك ، يتم فحص تأثيرات التركيبات المضادة للتغذية ، وكذلك الوسائل المختلفة المستخدمة للتخلص منها. من خلال تسليط الضوء على الفوائد العديدة لهذه التركيبات

الكيميائية ، تهدف الدراسة أيضاً إلى تسليط الضوء على الأهمية التي يمكن أن يتمتع بها هذا الغذاء للعالم بأسره في المستقبل ، لا سيما في سوء التغذية ومكافحة الجوع .ليس ذلك فحسب ، بل أيضاً لتسليط الضوء على إمكاناته كغذاء وظيفي لمكافحة أمراض الحضارة الشائعة بشكل متزايد.

**كلمات مفتاحية.** الكينوا، الخواص الكيميائية، الاستخدام الغذائي، الخصائص ، النشاط

## **Abstract**

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) a phylogenetically classified pseudocereal of the Amaranthaceae family. quinoa is a herbaceous plant native to South America, this species is characterized by an excellent ability to adapt to difficult ecological conditions. Native Americans domesticated quinoa thousands of years ago, but now the world is rediscovering this crop, especially for its high protein content and excellent balance of essential amino acids. However, it has the disadvantage of containing so-called "anti-nutritional" substances that negatively affect growth, digestion and feed conversion. Therefore, it should be eliminated. Quinoa is gluten-free and is now an integral part of the diet of people with celiac disease. Moreover, it contains many bioactive compounds and is the subject of active scientific research on its various therapeutic effects. This study reveals the botanical aspects, provides a comprehensive and up-to-date review of the chemical compositions of quinoa seeds and their nutritional value, and lists the pharmacological uses and nutritional significance of the bioactive compounds. In addition, the effects of anti-nutritional compositions are examined, as well as the various means used to eliminate them. By highlighting the many benefits of these chemical compositions, the study also aims to highlight the importance that this food can have for the whole world in the future, particularly in malnutrition and the fight against hunger. Not only that, but also to highlight its potential as a functional food to combat the increasingly common diseases of civilization.

**Key words:** Quinoa, chemical characterization, nutritional use, properties, activity

# **Sommaire**

## Sommaire

<b>Intitulé</b>	<b>P</b>
Remerciements	I
Dédicaces	II
Liste des abréviations	III
Liste des figures	IV
Liste des tableaux	V
Résumés	VI
Sommaire	VIII
Introduction	1
<b>Chapitre I : Généralités sur le quinoa</b>	/
I. 1. Origine de quinoa	3
I. 2. Etude botanique du quinoa	4
I. 2. 1. Classification de quinoa	4
I. 2. 1. Description et caractérisation morphologique de quinoa	4
I. 2. 1. 1. Caractérisation végétative	5
A. Racine	5
B. Tige	5
C. Ramification	6
D. Feuilles	6
I. 2. 1. 2. Caractérisation	7
A. Fleurs	7
B. Inflorescences	8
I. 2. 1. 3. Fruits et graines	8
I. 2. Phénologie du quinoa	9
I. 2. 1. Cycle de vie de quinoa	10
I. 2. 1. Description génétique	11
I. 2. 1. 1. Ecotypes	11
I. 2. 1. 2. Quinoa des zones marines	12
I. 2. 1. 3. Quinoa des vallées arides (Junín) et des vallées humides (Cajamarca)	12
I. 2. 1. 4. Quinoa des zones tropicales	12
I. 2. 1. 5. Quinoa des « Salares »	12
I. 2. 1. 6. Quinoa des hauts plateaux	12
I. 3. Mécanismes de résistance aux stresse biotiques et abiotiques chez le quinoa	13
I. 3. 1. Définitions du stress	13

A. Résistance aux stressés biotiques	14
A1. Maladies	14
A2. Parasites	14
A3. Ravageurs	15
B. Résistance au stress abiotiques	15
B1. Résistance à la sécheresse	15
B2. Résistance au froid	16
B3. Résistance à la salinité	17
B4. Résistance au stress hydrique	17
I. 4. Exigences et techniques culturales	17
I. 4. 1. Sol	17
I. 4. 2. Eau	17
I. 4. 3. Température	18
I. 4. 4. Climat	18
I. 4. 5. Altitude	18
I. 4. 6. Choix de variétés	18
I. 4. 7. Semis	18
I. 4. 8. Densité de semis	18
I. 4. 9. Récolte	18
I. 4. 10. Indice de récolte	18
I. 5. Système de culture manuel (traditionnel) (Felix, 2004)	19
I. 5. 1. Défriche	19
I. 5. 2. Labour	19
I. 5. 3. Semis	19
I. 5. 4. Récolte	19
I. 5. 5. Rendement	19
I. 6. Système de culture mécanisé	19
I. 6. 1. Labour	19
I. 6. 2. Semis	19
I. 6. 3. Récolte	20
I. 6. 4. Contrôle de mauvaises herbes	20
<b>Chapitre II. Caractérisation chimique du quinoa</b>	/
II. 1. Quinoa ( <i>Chenopodium quinoa</i> Wild) comme ressource protéique	21
II. 1. 1. Protéines	21
II. 1. 1. 1. Protéines de stockage	22
II. 1. 1. 2. Acides aminés	22
II. 1. 1. 3. Inhibiteurs de protéases	24
II. 1. 1. 4. Lectines	24
II. 1. 1. 6. Lipides et composés lipidiques	26

II. 1. 1. 6. Minéraux	27
II. 1. 1. 7. Vitamines	29
II. 1. 1. 8. Terpènes et stéroïdes	30
II. 1. 1. 9. Pigments	31
II. 1. 1. 10. Valeurs nutritionnelles des graines du quinoa	31
II. 1. 1. 10. Quinoa : Aliment précieux pour l'avenir	33
<b>Chapitre III. Intérêt nutritionnelle et multiple utilisation pharmacologiques du quinoa</b>	/
III .1. Interet nutritionnel du quinoa	34
III. 1. 1. Gluten-free	34
III. 1. 2. Fibres alimentaires	34
III. 1. 3. Effet bénéfique sur le système cardiovasculaire	34
III. 1. 3. Effet bénéfique sur le système cardiovasculaire	35
III. 2. Multiple utilisations pharmacologiques du quinoa	35
III. 2. 1. Interet medicinal du quinoa	35
III. 2. 1. 1. Propriétés pharmacologiques	35
III. 2. 1. 2. Activité anti-inflammatoire	35
III. 2. 1. 3. Activité anti-oxydation	36
III. 2. 1. 4. Activité anti-ulcéreuse	36
III. 2. 1. 5. Absorption des médicaments	37
III. 2. 1. 6. Activité molluscicide	37
III. 2. 1. 6. Activité antifongique	37
III. 2. 2. Potentialités et propriétés du quinoa	38
III. 2. 2. 1. Propriétés antinutritionnelles	38
III. 2. 2. 2. Effet sur la croissance	38
III. 2. 2. 3. Effet sur la digestion et l'utilisation des minéraux	38
III. 2. 2. 4. Effet sur la digestion et l'utilisation des protéines	39
III. 2. 2. 5. Effet sur l'oxalurie	39
III. 2. 2. 6. Elimination des facteurs antinutritionnels	39
III. 2. 2. 1. inhibiteurs de trypsine	39
III. 2. 2. 8. Alternative allergisante	40
Conclusion	41
References	43

# **Introduction**

## **Introduction**

Le quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd), est une plante herbacée, appartient phylogénétiquement à la famille des *Amaranthaceae* (Chenine & Sahli, 2020). C'est une pseudo-céréale connue pour son excellente valeur nutritionnelle et son potentiel d'amélioration de la sécurité alimentaire mondiale, en particulier dans les régions marginalisées (Craine & Murphy, 2020).

Le quinoa contient des niveaux élevés de composés phytochimiques bénéfiques pour la santé, notamment des acides aminés, des fibres, des acides gras polyinsaturés, des vitamines, des minéraux, des saponines, des phytostérols, des phytoecdystéroïdes, des phénols, des bêtaïnes et de la glycine bêtaïne (Jianhong, 2002).

Des recherches approfondies ont été menées récemment sur la composition chimique du quinoa. Les composants des graines de quinoa et leurs propriétés curatives ont fait de cette culture une ressource importante pour le développement d'aliments fonctionnels grâce à leurs avantages pour la santé humaine .

Les biostimulants ont des propriétés pharmacologiques intéressantes comme les Applications potentielles dans le domaine pharmaceutique. Le quinoa ne contient pas de gluten, il peut être consommé par les personnes sensibles à cette protéine . Le quinoa peut être une alternative nutritionnelle précieuse pour les personnes ayant des problèmes de santé.

Le quinoa a conduit au développement et à la fabrication de nombreux aliments et compléments nutritionnels au cours des deux dernières décennies. De plus, quatre études cliniques ont montré que la consommation de quinoa a des effets bénéfiques significatifs sur le métabolisme humain, la santé cardiovasculaire et le système digestif.

Cependant, des défis et des opportunités importants subsistent pour les secteurs de la science, de l'agriculture et du développement afin de renforcer le rôle du quinoa dans la promotion de la santé humaine et de la nutrition à l'échelle mondiale. (Higuchi et *al.*, 2022).

Malgré ses bienfaits et sa haute valeur nutritive, l'utilisation des graines de quinoa dans l'alimentation L'homme pose un problème lié à la présence de facteurs dits « anti-trophiques ». Ces substances en général affectent négativement la croissance, la digestion et l'utilisation de nutriments.

Il faut donc trouver des solutions pour éliminer ou au moins atténuer ses effets néfastes, dont les plus connus sont les saponines, composés toxiques et amers concentrés dans le tégument, qui doivent être éliminés par abrasion mécanique ou lavage avant consommation.

Dans cette étude, nous proposons de clarifier les aspects botaniques du quinoa et d'examiner la composition chimique et la valeur nutritionnelle des graines. Nous énumérons également les principales propriétés pharmacologiques et nutritionnelles des composés bioactifs et examinons l'action des antinutriments et différentes méthodes pour leur élimination.

# **Chapitre I**

## **Généralités sur le quinoa**

**Chapitre I : Généralités sur le quinoa**

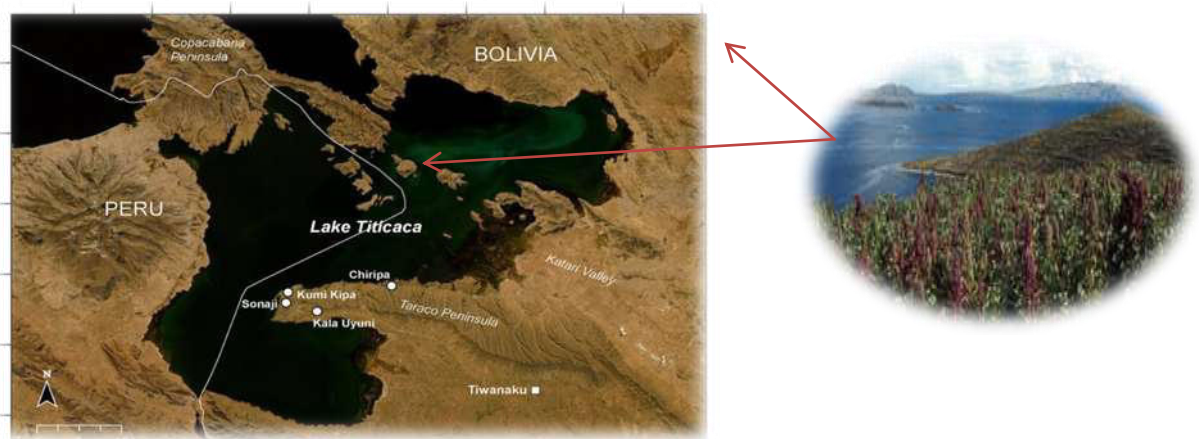
**I. 1. Origine de quinoa (*Chenopodium quinoa*)**

Le quinoa a été domestiqué par les anciennes cultures andines de la région Altiplano (plateau) de la Bolivie et du Pérou. Gandarillas (1968) a étudié la diversité génétique des souches de quinoa et a trouvé la plus grande diversité. Le quinoa a été découvert pour la première fois par le botaniste allemand et pharmacien Carl Ludwig Willdenow à l'année de 1797. il était cultivé dans le Sud depuis 8000ans andes américaines (Martínez et *al.*, 2015) (Figure 1).



**Figure 1 :** Culture de quinoa dans les plaines des cordillère des Andes .

Il est originaire de la région située entre Cusco (Pérou) et Potosi (Bolivie). Les plus grandes populations de la sous-espèce sauvage se trouvent dans la région de l'Altiplano autour du lac Titicaca de Bolivie et du Pérou (Maughan et *al.*, 2007) (Figure 2)



**Figure 2:** Carte de localisation de lac Titicaca (Martínez et *al.*, 2015).

Historiquement, Les Incas connaissaient les graines et leur valeur nutritive Elle a été reconnue pour ses bienfaits sur la santé et élevée au rang de « graine sacrée ». Le quinoa est Cependant, il a été abandonné au profit du blé et de l'orge lors de l'invasion espagnole. Grâce aux fermes traditionnelles, peu de cette culture a été préservée,

seulement exploitée. Alors que la production locale pour la consommation locale (Herbillon, 2015) .

**I. 2. Etude botanique du quinoa**

**I. 2. 1. Classification de quinoa**

Le quinoa est un angiosperme dicotylédone de la famille des Chénopodiacées. Depuis 2009, une nouvelle classification dite phylogénétique (APG III) classe le quinoa dans la catégorie de Amaranthacées . Mais nous indiquerons la classification la plus fiable la classification de Cronquist(1981) ( Tableau 1)

**Tableau 1:** Classification scientifique de cronquiste 1981

<b>Classification de Cronquist (1981)</b>	
Règne	Plantae
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsidae
Sous-classe	Caryophyllidae
Ordre	Caryophyllales
Famille	Chenopodiaceae
Genre	Chenopodium
<b>Classification APG III (2009)</b>	
Ordre	Caryophyllales
Famille	Amaranthaceae
Nom binomial : <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.1798	

Les Chénopodiacées forment une grande famille d'environ 1500. Espèce répartie en 100 genres et poussant dans les régions tempérées subtropicales du monde entier. Ce sont principalement des plantes vivaces herbacées.

Il y a des annuelles, rarement des arbres et des arbustes, qui sont généralement des halophytes. En d'autres termes, ils ont la particularité de s'adapter aux environnements salins par différents mécanismes. Le chénopodiacées comprennent des espèces industrielles, horticoles et d'alimentation animale (Herbillon, 2015).

**I. 2. 1. Description et caractérisation morphologique de quinoa**

Le Caractéristiques morphologiques considérées selon les normes Taxonomie La première classification du quinoa était basée sur la couleur de la plante et Fruits, parfois même formes de fruits et saveurs de grains L'un des premiers Une taxonomie connue a été

## Chapitre I .....Généralités sur le quinoa

réalisée à partir d'échantillons collectés dans l'Altiplano bolivien 1917. A l'époque, quatre types de quinoa étaient répertoriés :

- *Chenopodium album*, caractérisé par des grains doux .
- *Chenopodium pallidus* aux grains amers .
- *Chenopodium ruber* aux grains rouges .
- *Chenopodium niger* aux grains noirs .

Malgré la grande variation morphologique observée, les botanistes qui l'ont étudiée Convenu que le quinoa peut être considéré comme une espèce unique dans la taxonomie du quinoa dans le genre Amarante (Tapia, 1997).

### **I. 2. 1. 1. Caractérisation végétative**

#### **A. Racine**

la germination de quinoa est très rapide et démarre en quelques heures seulement en présence de Humidité suffisante du sol. La racine se développe d'abord, puis continue de croître Développe une racine pivotante jusqu'à 30 cm de profondeur Il développe des racines secondaires et tertiaires, à partir des quelles il se forme racines qui peuvent se ramifier . Ce système racinaire est très robuste et peut supporter des plantes de plus de 2 m de hauteur. On observe que la plante s'effondre sous l'influence de la hauteur, dans de rares. cas, du vent, d'une humidité excessive et du poid des panicule (Herbillon, 2015).

La profondeur des racines est étroitement liée à la hauteur de la plante. plantes de un d'une hauteur de 1,70 m et d'une longueur de racine de 1,50 m, et un autre d'une hauteur de 90 cm et d'une longueur de racine de 80 cm (Herbillon, 2015) (Figure 3).



**Figure 3:** Racine de quinoa (Boukhalat & chellali, 2021) .

#### **B. Tige**

La couleur de la tige peut être une couleur verte uniforme, vert avec des aisselles colorées (généralement rouges), vert avec des rayures violettes ou rouges, ou Un rouge très uniforme. Il y a une moelle blanche à l'intérieur de la tige. Il a une texture crémeuse et douce lorsqu'il est jeune, mais devient moelleux et spongieux à maturité. En revanche, le cortex est dur, dense et constitué de tissus solides(Herminio Gandarillas, 1968). La tige est cylindrique au niveau du col, puis plus anguleuse branche à feuilles alternées sur ses quatre

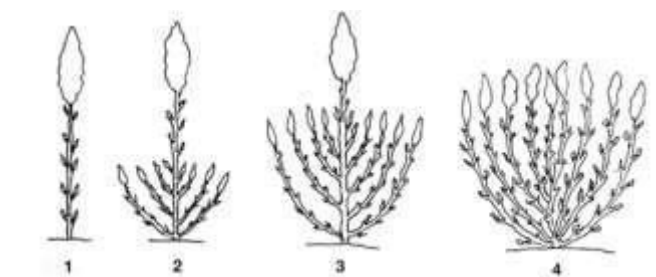
côtés. Il peut être unique ou avoir de nombreux impacts. Son diamètre varie entre 1 et La hauteur est d'environ 8 cm, mais elle varie de 50 cm à 2 m, selon la variété et les conditions de croissance taux de semis ou fertilisation (Mujica Sánchez et al., 2021) (Figure4).



**Figure 4 :** Tige de quinoa

### **C. Ramification**

Une branche émerge de chaque aisselle de feuille de la tige. sa longueur varie Selon la variété et les conditions environnementales, allant de quelques centimètres au maximum même longueur que la tige principale. D'un point de vue commercial, la ramification des plantes n'est pas souhaitable Production de graines de quinoa. Par conséquent, dans le contexte culturel plus large, Semez à une densité qui ne laisse pas de semis bifurquer (Jacobsen & Stølen, 1993) (Figure5)



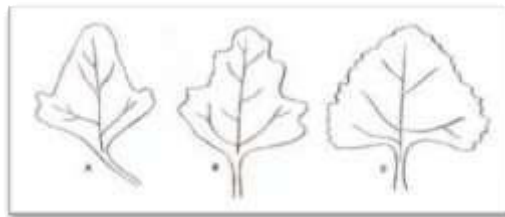
**Figure 5:** Types des ramifications de quinoa(Jacobsen & Stolen, 1993) .

### **D. Feuilles**

Les feuilles sont alternes et se composent de pétioles et de limbes. Les pétioles sont longs et minces, ont une crête sur le dessus et varient en longueur même au sein d'une même plante. La plupart du temps, les membres sont plats, mais parfois ils sont rhomboïdes (en forme de losange) ou triangulaires jusqu'à 15 x 12 cm. Les feuilles supérieures sont petites, d'environ 10 x 2 mm, lancéolées ou triangulaires (Mujica et al., 2001) .

L'une des caractéristiques les plus constantes est le nombre de saillies séparant les feuilles, qui varie de 0 à 20 selon l'écotype et La couleur des feuilles dépend du génotype. Ils sont généralement verts lorsqu'ils sont jeunes, mais deviennent ensuite jaunes, rouges et

violet. Ces couleurs sont dues à la présence de pigments végétaux appelés bétalaïnes, dont il existe deux types : Bétacyanine (magenta) et Bétaxanthine (jaune) (Herbillon, 2015) (Figure 6)



**Figure 6:** Variation de nombre de dents dans les feuilles de quinoa

Les feuilles ont plusieurs adaptations morphologiques qui les aident à résister à la dessiccation pendant la croissance, comme un épiderme cireux, des stomates protégés par un épiderme épaissi et des papilles des deux côtés (Gandarillas, 1968).

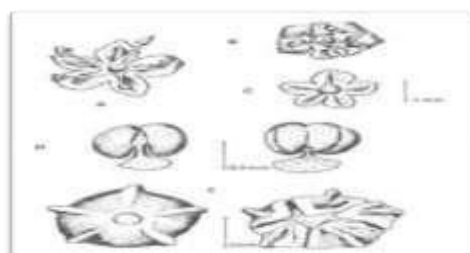
Ces papilles agissent comme des agents hygroscopiques en raison de leur forte teneur en oxalate de calcium. Cela signifie qu'il peut non seulement piéger l'humidité la nuit et contrôler l'excès d'évapotranspiration, mais aussi réfléchir les rayons du soleil, empêchant les phénomènes de réchauffement des feuilles (Mujica et al., 2001).

### **I. 2. 1. 2. Caractérisation**

#### **A. Fleurs**

Tous les membres de la famille des Chenopodiaceae produisent des fleurs incomplètes, sessiles et sans pétales. Une caractéristique importante du quinoa est la présence de fleurs femelles unisexuées à l'extrémité distale de l'inflorescence et de fleurs hermaphrodites à l'extrémité proximale (Pedersen, 2016). La fleur hermaphrodite est constituée d'un périgone de type séploïde (cinq sépales) et Un pistil (ou pistil) avec un ovaire ovale entouré de deux ou trois stigmates Androecium lui-même se compose de cinq étamines courtes courbes.

Le fleur femelle Il se compose uniquement de périgone et de pistils. La première taille varie entre 2 et 5 mm, tandis que la seconde taille est comprise entre 1 et 3 mm. Leurs proportions respectives dans le glomérule varient selon la race (Gandarillas, 1968) (Figure 7).



**Figure 7:** Hermaphrodite fleur et femell de quinoa (Herminio Gandarillas, 1968)

## Chapitre I .....Généralités sur le quinoa

A : Fleur hermaphrodite en période d'anthèse B : Fleur hermaphrodite avant l'anthèse.C : Fleur femelle.D : Etamine avant la déhiscence, vue interne et externe, respectivement .E : Fruit recouvert par le périgone, vue ventrale et dorsale, respectivement

### **B. Inflorescences**

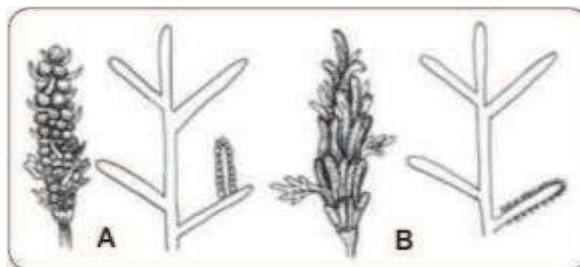
L'inflorescence est une panicule typique constituée d'un axe principal d'où découlent des axes secondaires et tertiaires (Figure8)



**Figure 8:** Panicule de quinoa

Deux types d'inflorescences ont été décrites pour le quinoa Formes glomérulaires et dégainées Dans la forme glomérulaire, les glomérules (branches courtes avec des grappes de fleurs) sont insérés dans l'axe tertiaire s'étendant à partir de l'axe secondaire, alors que dans la forme dégainée les glomérules sont insérés dans l'axe secondaire inséré directement.

Dans les deux cas, l'inflorescence peut être plus ou moins compacte selon la longueur des deuxième et troisième axes et du pédoncule, inflorescences compactes ayant à la fois un axe et un pédoncule courts, mais les inflorescences en grappes ouvertes sont généralement beaucoup plus compactes que les fleurs d'Amaranthacées (Figure 9).



**Figure 9:** Formes d'inflorescence de quinoa : (A) Glomérulaire (B) Amaranthiforme

### **I. 2. 1. 3. Fruits et graines**

Le fruit est un akène composé de plusieurs couches de l'extérieur vers l'intérieur Périgone, péricarpe, endosperme Chaque fruit contient une seule graine dont la couleur, la forme et la taille varient (Risi, 1984) .

Selon la classification de (Ignacio et *al.*, 1976) Les graines se présentent trois formes : Conique, cylindrique et ovale . qui peut Classés en trois catégories de taille. Grand (2,2 - 2,6 mm), Moyen (1,8 - 2,1 mm), Petit (< 1,8 mm) . l'inflorescence du quinoa

présente autant de couleurs variées a cause de différentes couleurs du péricone, du péricarpe et de l'épisperme (Figure 10) (Tapia, 1979) .

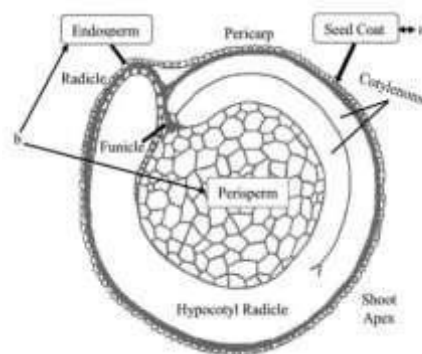


**Figure 10:** Variété de couleur de quinoa (Herbillon, 2015) .

Le périconium se détache facilement pendant la maturation, le lavage ou le séchage des fruits, mais dans certains cas, il peut rester attaché à la graine même après le battage. Sur l'abdomen endolori, on observe une cicatrice, un hile, correspondant à l'insertion du fruit dans le tube floral (Mujica et *al.*, 2001) .

Le péricarpe est attaché aux graines et est enlevé par épluchage abrasif avant de manger. Juste en dessous du péricarpe, Episperme entoure la graine en formant une très fine membrane. L'embryon, composé de deux cotylédons et d'une radicule, est situé autour de la graine et l'enveloppe comme un anneau. Il peut représenter jusqu'à 60 % du poids des graines et 30 % du volume total des graines (Valencia-Chamorro, 2003).

Le germe est le principal tissu de stockage des graines de quinoa, représentant près de 60% de la surface de la graine. Une fois les graines hydratées, il y a un endosperme qui entoure complètement l'embryon et est séparé de l'endosperme par une couche d'air. Vraisemblablement, les cellules de l'endosperme entrent en contact avec l'embryon, consommant rapidement l'endosperme au cours de sa croissance (Figure11).



**Figure 11:** Structure de graine de quinoa

## **I. 2. Phénologie du quinoa**

La phénologie est les changements externes visibles dans les processus de développement des plantes qui se produisent en raison des conditions environnementales.

## Chapitre I .....Généralités sur le quinoa

Le quinoa a des phases saisonnières distinctes qui nous permettent d'identifier les changements qui se produisent au cours du développement de la plante (Dominguez, 2014).

### **I. 2. 1. Cycle de vie de quinoa**

Selon Mujical et Canahua (1989) dans Le bon vallet (2008), le cycle de vie du quinoa se décompose en les étapes suivantes (Tableau 2). Une étape est atteinte lorsque 50 plantes sont à cette étape.

**Tableau 2 :** Phénologie du quinoa (Lebonvallet, 2008)

<b>Stade</b>	<b>Description</b>	<b>Jours après le semis</b>
1. Stade levée	Elle correspond à la sortie de la plantule et au déploiement des feuilles cotylédonaire (germination épigée).	Elle se produit entre 7 et 10 jours après le semis.
2. Stade deux feuilles vraies	Les deux premières vraies feuilles apparaissent 15 à 20 jours après le semis. Avec la croissance rapide des racines. en forme de diamant Face opposée de la feuille de cotylédon.	Les deux premières vraies feuilles apparaissent 15 à 20 jours après le semis.
3. Stade quatre feuilles	La deuxième paire de feuilles vraies se déploie 25 à 30 jours après le semis. Les feuilles cotylédonaire sont toujours vertes.	25 à 30 jours après le semis.
4. Stade Six feuilles	L'apparition de la troisième paire de feuilles vraies se produit 35 à 45 jours après le semis, alors que les feuilles cotylédonaire commencent à se flétrir.	35 à 45 jours après le Semis.
5. Ramification	Au stade 8 feuilles, 45 à 50 jours après le semis, on peut observer. Cultivar qui se ramifie jusqu'au troisième nœud en raison de la présence de bourgeons axillaires.	45 à 50 jours après le semis.
6. Début de formation de la panicule	L'inflorescence commence à apparaître à l'apex de la plante au Début de 55 à 60 jours, entourée d'une agglomération de feuilles de toute petite taille qui la recouvrent encore en partie.	55 à 60 jours
7. Panicule	Les inflorescences sont maintenant clairement visibles au-dessus des feuilles. les glomérules qui le composent. Les boutons floraux individuels apparaissent 65 à 70 jours après le semis.	65 à 70 jours.
8. Début de floraison	Les inflorescences sont maintenant clairement visibles au-dessus des feuilles. les glomérules qui le composent. Les boutons floraux individuels apparaissent 65 à 70 jours après le semis.	75 à 80 jours après le semis.
9. Grain laiteux □	Le grain est qualifié de laiteux 100 à 130 jours après le semis, car un liquide blanchâtre en sort lorsqu'une pression est exercée sur le fruit.	100 à 130 jours après le semis.
10. Grain pâteux	L'intérieur des fruits devient d'une consistance pâteuse, toujours de couleur blanche.	130 à 160 jours après le semis.
11. Maturité physiologique	Les grains les plus tolérants à la pression mûrissent après 160 à 180 jours. Teneur en humidité pas plus de 15%. Fructification après floraison.	160 à 180 jours.

**I. 2. 1. Description génétique**

La quantification chromosomique de différents cultivars de quinoa du Pérou, du Chili et de Bolivie a révélé qu'il existe 36 chromosomes somatiques, composés de deux lots diploïdes de chromosomes  $2x = 4n$  et  $n = 9$ , indiquant que le quinoa est hétérotétramère et qu'il s'agit d'une espèce diploïde. Le matériel génétique des parents du quinoa offre de nombreux traits intéressants qui sont utiles pour l'amélioration génétique des cultures. *Chenopodium carnosolum* est une source génétique de rusticité et de vitesse. *C. hircinum*, *C. petiolare* et *C. berlandieri* Moq. Sous-espèce *Nuttalliae* (Saff.) H.D. Wilson et Heiser portent des gènes de résistance au mildiou (*Peronospora farinosa* (Fr) (Herminio Gandarillas, 1968) (Tableau 3).

**Tableau 3:** Banques de gènes du quinoa en Amérique du Sud (Rojas, 1998) .

<b>Pays</b>	<b>Nombre accessions</b>	<b>Lieu</b>
<b>Pérou</b>	236	-Estación Experimental Baños del INCA Cajamarca.
	1.276	-Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima
	50	- Estación Experimental Andenes, Cuzco .
	104	-Estación Experimental Illpa, Pun.
	1 ,144	-Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
<b>Argentine</b>	455	-Facultad de Agronomía, UBA, en custodia del INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria), Buenos Aires.
<b>Bolivie</b>	2 ,511	-Fundación para la Promoción de Investigación de Productos Andino, PROINPA, La Paz.
	1 ,500	- Facultad de Agronomía, UMSA, La Paz.
	1,400	-Facultad de Agronomía, UTO, Oruro .
<b>Équateur</b>	400	-Estación Experimental Santa Catalina.
<b>Brésil</b>	800	-Centro de Pesquisa Agropecuaria EMBRAPA.
<b>Colombie</b>	300	-Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogota.
<b>Chili</b>	73	- Centro regional de investigación Intihuasi, Banco Base de INIA.

**I. 2. 1. 1. Ecotypes**

Par écotipe, on entend toutes les variétés d'une espèce particulière qui développent des adaptations morphologiques et physiologiques spécifiques à l'écosystème dans lequel elles vivent et les transmettent à leur progéniture sans altérer leur matériel génétique . Le quinoa est cultivé en Amérique du Sud (en particulier dans et autour de la Cordillère des Andes) à des latitudes allant de 4°N en Colombie à 40°S au Chili et du niveau de la mer à 4000m d'altitude (Risi C & Galwey, 1989).

Selon les adaptations développées, environ 3 000 cultivars de quinoa sauvages ou cultivés pourraient être classés en cinq écotypes (Laguna, 2002).

**I. 2. 1. 2. Quinoa des zones marines**

Sud du Chili, à environ 30 degrés de latitude sud, plus précisément de cette région. Concepción et Valdivia, la plante pousse dans des zones allant du niveau de la mer à 500m d'altitude et est mieux adaptée aux conditions humides. Il est plus ou moins rustique, mesure 1 à 1,4m de haut, presque sans ramification et fleurit les jours les plus longs. Elle produit de petites graines plates, jaunes, translucides et riches en saponines.

**I. 2. 1. 3. Quinoa des vallées arides (Junín) et des vallées humides (Cajamarca)**

Il est originaire des vallées andines (vallées du sud de la Colombie, de l'Équateur, du Pérou et de la Bolivie) à des altitudes de 2000 à 3500m. Deux sous-espèces peuvent être distinguées. L'un est le quinoa, qui provient de cultures irriguées dans les vallées montagneuses andines comme Urubamba (Pérou) et Cochabamba (Bolivie). Le quinoa cultivé dans des zones humides telles que Huaraz, Mantaro Valley, Ayacucho et Abancay (Pérou). La plante est haute, atteignant parfois 3,5m de hauteur, mais adaptée à des températures de 10-18°C et ne résiste pas au gel. La plupart sont ramifiées et produisent de petits grains à faible teneur en saponine.

**I. 2. 1. 4. Quinoa des zones tropicales**

Il provient de la région des Yungas, une vallée inter-andine de Bolivie. Altitude entre 1500m et 2000m. Adaptation au climat subtropical Résiste aux fortes pluies et à la chaleur. La plante est de couleur foncée et les tiges se caractérisent par une couleur orange à maturité. Les graines sont petites, blanches ou orange. La période de croissance (période de croissance) est aussi longue que 200 jours.

**I. 2. 1. 5. Quinoa des « Salares »**

On le trouve dans l'Altiplano au sud de la Bolivie, à Puna au nord du Chili (à la frontière avec la Bolivie) et dans les vastes salines du nord-est de l'Argentine à environ 3 000 mètres d'altitude. Les plantes peuvent résister à des conditions extrêmes. Température 8°C, sols alcalins à pH 8 et salinité élevée. Leur développement précoce est rendu possible par l'utilisation de l'humidité des trous creusés au moment du semis.

La culture dans ces zones suit des procédures spécifiques. Après la récolte, le sol entre en dormance pendant 4 à 8 ans. La réduction de cette période de jachère affectera négativement la fertilité du sol. Les graines sont grosses et contiennent beaucoup de saponines La variété la plus courante est la Real.

**I. 2. 1. 6. Quinoa des hauts plateaux**

On le trouve dans les zones montagneuses autour du lac Titicaca, où les conditions de croissance sont différentes. D'autre part, près des rivières et des ruisseaux autour du lac

## Chapitre I .....Généralités sur le quinoa

Titicaca, où il y a moins de précipitations et des conditions de température favorables, les variétés Cancora, Blanca de Juli et Tahuaco sont indigènes. En revanche, les variétés Cheweca, Ccoitu, Wariponcho, Chullpi et Witulla sont tolérantes au froid et adaptées aux plateaux à des altitudes de 3800-4100m. La plante est courte (0,5-1,5m de haut), avec des tiges droites et une courte saison de croissance (Tableau 4).

**Tableau 4:** Exigences de température et de humidité selon les groupes agro-écologiques de quinoa (Tapia, 1997).

Ecotypes	Précipitation (mm)	Température minimale moyenne (°C)
Niveau de la mer	800 - 1500	5
Vallées	700 - 1500	7
Zone subtropicale (Yungas)	1000 - 2000	3
Salares	250 - 400	-1
Altiplano	400 - 800	0

### **I. 3. Mécanismes de résistance aux stress biotiques et abiotiques chez le quinoa**

Le quinoa est une plante originaire de la région andine d'Amérique du Sud et y est cultivée du niveau de la mer au Chili à près de 4000m dans l'Altiplano entre la Bolivie et le Pérou. Malgré la mauvaise qualité des sols et des conditions climatiques particulièrement difficiles, cette large répartition géographique témoigne de la grande capacité d'adaptation de cette espèce, qui a dû développer différents mécanismes de défense pour résister à la sécheresse fréquente, au gel, au froid, au vent et à la salinité. Il infecte également diverses maladies, parasites et ravageurs des cultures.

#### **I. 3. 1. Définitions du stress**

Le terme stress fait référence aux facteurs environnementaux qui provoquent un stress potentiellement nocif pour les organismes. Le stress est une série de conditions qui provoquent des changements dans les processus physiologiques qui conduisent finalement à des dommages, des blessures, des blessures ou une inhibition de la croissance et du développement. Le stress est essentiellement défini par les ingénieurs et les physiciens comme la force exercée par unité de surface sur un objet en réponse au stress, un concept mécanique qui permet à un objet de résister à la déformation et au changement dimensionnel (Hopkins, 2003).

Il existe deux types de stress biotique, causée par d'autres organismes (insectes, herbivores, etc.) et abiotique, causés par des carences ou des excès dans l'environnement physico-chimique tels que la sécheresse, les températures extrêmes ou la salinité...

**A. Résistance aux stressés biotiques**

**A1. Maladies**

\* **Mildiou** : Une maladie causée par un champignon appelé *Peronospora farinosa* (Valencia-Chamorro, 2003) . Elle se caractérise par des taches chlorotiques sur la surface des feuilles et un mycélium blanc ou violet sur la face inférieure de la feuille<sup>51</sup>. C'est un obstacle sérieux à la production de quinoa car il entraîne une réduction significative du rendement. Des maladies fongiques ont été signalées occasionnellement (Danielsen et al., 2003). Le champignon survit pendant 2 à 3 ans dans le sol sous forme d'oospores et de mycélium dans le grain. Les plantes infectées produisent des sporanges sur la face inférieure des feuilles qui contaminent les plantes voisines. L'infection peut se propager très rapidement. Il affecte principalement les feuilles, mais peut également affecter l'emplacement des tiges, des branches et des bourgeons. sujette à l'humidité et au froid(Martínez et al., 2015) (Figure 12).



**Figure 4** : Effet du mildiou sur les feuilles de quinoa (Hoggui & Khaled, 2019)

**A2. Parasites**

\* **Kcona kcona** : (*Scrobipalpula* sp) : Est un petit insecte de l'ordre des lépidoptères (papillon), probablement le ravageur le plus sérieux du quinoa. Les insectes attaquent intensément pendant les périodes de sécheresse et de températures élevées. Les larves détruisent d'abord les feuilles et les inflorescences. Plus tard, lorsque la plante mûrit, les larves détruisent les panicules et les graines (Valencia-Chamorro, 2003).

\* **Larve «Quema-Quema »** : Les larves diurnes du papillon de nuit 'Quema Quema' attaquent les tiges et les feuilles des jeunes pousses tendres, les détruisant souvent complètement (Figure 13).



**Figure 5**: Attaque les tiges et feuilles de quinoa par les larves « Quema Quema »

\* **Larve « Polilla de la quinoa »** : La chenille du papillon 'Porilla de la quinoa' s'attaque aux niveaux foliaires et paniculaires des plants de quinoa, provoquant une destruction partielle ou totale de l'inflorescence et/ou des graines (Holmes et *al.*, 1995) (Figure 14).



**Figure 6:** Larve « Polilla de la quinoa » attaque les feuilles et panicules

### **A3. Ravageurs**

Les graines de quinoa contiennent de fortes concentrations d'oiseaux et de parasites. Les saponines contenues dans les saponines sont des ingrédients qui les rendent moins sensibles à ces attaques en raison de leur goût amer et de leur toxicité pour les petits animaux (Tapia, 2015).

### **B. Résistance au stress abiotiques**

La température est l'un des principaux facteurs affectant la productivité des plantes. Les plantes qui poussent dans les zones désertiques et semi-arides sont exposées à des températures élevées, à un rayonnement élevé, à une faible humidité du sol et, dans certains cas, à des intensités de transpiration élevées (Hopkins, 2003). Il existe deux types de stress thermique, à savoir, stress au sécheresse et stress au froid.

#### **B1. Résistance à la sécheresse**

Le quinoa est une plante très résistante à la sécheresse, car elle tolère une chaleur jusqu'à 35°C et est peu sollicitée. Cependant, la sécheresse a plusieurs effets sur les plantes, non seulement l'intensité et la durée de la sécheresse, mais aussi le stade de développement auquel la sécheresse se produit, le génotype de la plante, ou si la sécheresse s'est déjà produite à un moment donné. . Stades précoces, voire tolérance des plantes aux propriétés du sol et aux pénuries d'eau (Mujica et *al.*, 2001). Cette plante peut pousser même dans les régions où il pleut chaque année 200-400mm (Valencia-Chamorro, 2003). Certains écotypes se sont également avérés capables d'atteindre la maturité dans des conditions d'irrigation équivalentes à aussi peu que 50 mm de précipitations par saison, ce qui implique très peu d'irrigation pour toutes les espèces cultivées (Martínez et *al.*, 2009). Par conséquent, le quinoa a développé divers mécanismes de résistance au stress hydrique (tableau 5). Néanmoins, bien que la sécheresse reste l'un des facteurs qui réduisent le rendement en graines, une sécheresse modérée en début de cycle peut avoir un impact positif sur l'endurcissement des plantes (Sanchez et *al.*, 2003) (Tableau 5).

**Tableau 5:** Mécanismes de résistance du quinoa a la sécheresse (Mujica et al., 2001)

Type de mécanismes	Caractéristique
Phénologiques	- Évolution phénologique plus rapide, - période de floraison raccourcie, - Croissance initiale rapide des racines stade de croissance, -Asynchronie de la période de floraison.
Morphologiques	- Pliage des feuilles paniculaires, - Diminution de la surface foliaire due à la défoliation, - Plasticité du développement et de la croissance, -Réduire la taille de la plante entière ou des feuilles.
Physiologiques	- Améliore la tolérance au sel et la résistance des pores, - Absorption rapide de l'eau, - Récupération rapide de la capacité photosynthétique après de faibles taux de transplantation et des périodes de sécheresse.
Anatomiques	- Améliore le développement racinaire (densité et profondeur). -Réduire le nombre et la taille des pores.
Biochimiques	- Mouvement des ions K et Ca des cellules stomatiques pendant les périodes de sécheresse., - Augmentation de la production d'acide abscissique (ABA).

**B2. Résistance au froid**

Il existe plusieurs variétés de quinoa adaptées aux températures froides. Les effets du gel sur les plantes dépendent de leur intensité et de leur durée, mais aussi du stade de développement auquel le gel survient, de l'humidité relative et du génotype. Lorsqu'il est généralement admis que la température limite de croissance la plus basse pour le quinoa est de -5°C(Bois et al., 2006). On dit que certaines variétés tolèrent des températures jusqu'à -18°C dans les premiers stades de croissance. Une fois de plus, le quinoa a pris diverses mesures pour survivre à la congélation (Tableau 6), en évitant surtout la formation de glace due à une surfusion modérée. En fait, le quinoa est riche en sucres solubles, ce qui peut provoquer des maladies. Il abaisse le point de congélation et aide à réduire la température mortelle des tissus foliaires (Jacobsen et al., 2007) (Tableau 6).

**Tableau 6:** Mécanismes de résistance et de tolérance du quinoa à la sécheresse et au froid (Mujica et al., 2001).

Type de mécanismes	Caractéristique
Phénologiques	- Les phases saisonnières sont plus résistantes au froid, les phases saisonnière prolongées ou attentistes.
Morphologiques	-Feuilles mortes, - réduction des plantes, -Réduction de la taille de la feuille.
Physiologiques	-Mouvement des feuilles et des tiges, - Régulation osmotique de la formation de glace Tolérance à l'apoplaste et à l'hypothermie.
Anatomiques	- Pores peu nombreux et larges.
Biochimiques	- Accumulation de métabolites (sucres solubles, proline, protéines).

### **B3. Résistance à la salinité**

Le stress salin est un stress causé par une augmentation soudaine de la concentration en sel. D'autre part, la concentration réduite du milieu externe entraîne une augmentation de l'afflux d'ions dans la cellule (Hopkins, 2003). Les variétés de quinoa cultivées dans la zone située entre les lacs salés boliviens ont développé des capacités remarquables dans cet environnement, où les sols et les eaux d'irrigation peuvent contenir des niveaux importants de sel. Les plus tolérants d'entre eux semblent capables de supporter des salinités élevées comme l'eau de mer (Jacobsen et al., 1999).

Selon Adolf et al., (2013) : Les propriétés les plus importantes liées à la tolérance au sel sont :

- Régulation efficace de l'accumulation de sodium dans le xylème (tissu vasculaire qui transporte l'eau et les nutriments dissous des racines des plantes et contribue également à la formation du xylème dans la tige) et augmentation de la séquestration du sodium dans les vacuoles foliaires.
- Haute tolérance aux espèces réactives de l'oxygène (molécules de signalisation clés produites en réponse au stress et déclenchant diverses défenses de la plante).
- Une meilleure rétention du potassium et un système de contrôle efficace du développement et de l'ouverture des stomates.

### **B4. Résistance au stress hydrique**

Le stress hydrique est le stress causé par le manque d'eau qui constitue une menace persistante pour la survie des plantes. Cependant, nombre d'entre eux subissent des changements morphologiques et physiologiques qui leur permettent de survivre dans des zones à faible pluviométrie et à faible teneur en humidité du sol (Hopkins, 2003).

#### **I. 4. Exigences et techniques culturales**

**I. 4. 1. Sol** : Le quinoa pousse mieux dans les sols sablonneux à limoneux sableux et peut également être cultivé dans des sols marginaux et stériles. Le quinoa est alterné avec des pommes de terre et rempli des restes d'engrais organique des récoltes précédentes. Le quinoa tolère une large gamme de pH du sol, des sols alcalins de la région du Salar en Bolivie (pH 9) aux sols acides de la région de Cajamarca (Pérou) (pH 4,5). Il existe des génotypes adaptés à chaque condition de pH extrême (Mujica Sánchez et al., 2021).

**I. 4. 2. Eau** : La quantité d'eau optimale varie entre 200 et 400 mm selon le type de sol et les conditions météorologiques. La plante de quinoa tolère le stress hydrique et s'adapte bien aux zones avec des sols limono-sableux ou limono-sableux et des précipitations annuelles de 250 à 400 mm lorsqu'elles sont irriguées (Valencia-Chamorro, 2003).

**I. 4. 3. Température** : Le quinoa est une plante très résistante à la sécheresse car elle peut supporter des températures allant jusqu'à 35°C. Le quinoa est considéré comme ayant une température limite de croissance minimale de -5°C (Bois et *al.*, 2006). Certaines variétés de quinoa peuvent tolérer des températures jusqu'à -18°C pendant les premiers stades de croissance. Cela indique que le quinoa est très sensible aux températures élevées pendant la floraison. Des températures supérieures à 35°C peuvent provoquer la dormance et la stérilité du pollen (Lebonvallet, 2008).

**I. 4. 4. Climat** : Le quinoa tolère les climats désertiques, chauds et secs, froids et secs, tempérés et pluvieux, chauds et à humidité relative élevée, ainsi que les régions de la Puna et de la Cordillère de haute altitude. Différentes races et écotypes réagissent à différents climats (Risi C & Galwey, 1989).

**I. 4. 5 Altitude** : Cultivée depuis le niveau de la mer jusqu'à près de 4000 m d'altitudes (Risi & Galwey, 1989).

**I. 4. 6. Choix de variétés** : Deux critères doivent être pris en compte : la sensibilité à la photopériode et la teneur en saponines. Les variétés qui peuvent s'adapter à nous sont celles qui ont peu ou pas d'effet sur la durée du jour. Choisissez des variétés qui contiennent peu ou pas de saponines. Sinon, les graines doivent être désaponifiées avant d'être consommées (Mujica et *al.*, 2001) .

**I. 4. 7. Semis** : Les semis ont généralement lieu en août et septembre, mais peuvent être reportés à début décembre pour certains cultivars à cycles très courts (90 jours). Les méthodes de semis varient selon les zones de production, avec des semis en poches dans les régions sèches du sud et des semis en raie ou en pulvérisation dans les zones bien irriguées (Mujica Sánchez et *al.*, 2021; Risi & Galwey, 1989).

**I. 4. 8. Densité de semis** : La densité de la semis varie de 5 à 10 kg.ha-1 (100 à 250 plantes par m<sup>2</sup>) avec une profondeur alentours de 3 cm (Jacobsen et *al.*, 2007) .

**I. 4. 9. Récolte** : La récolte a lieu de mars à mai lorsque les plantes ont atteint leur maturité physiologique et que le grain est très sec. Avec un rendement potentiel de 11 t.ha-1 pour le quinoa, la production maximale en conditions optimales est d'environ 6 t.ha-1, alors que sur l'Altiplano elle n'est en moyenne que de 0,6 t.ha-1 (Laguna, 2002; Mujica et *al.*, 2001).

**I. 4. 10. Indice de récolte** : L'indice de rendement varie Indice de récolte de 0,20 à 0,45 et le poids moyen de 1000 grains est de 2,30 g.

**I. 5. Système de culture manuel (traditionnel) (Felix, 2004)**

**I. 5. 1. Défriche** : En juin et juillet de la première année à lieu la défriche des parcelles qui seront semées l'année suivante . Après la défriche, le terrain repose pendant 6 mois au cours desquels la matière organique va s'incorporer lentement au complexe argilohumique.

**I. 5. 2. Labour** : Le travail du sol est effectué entre fin janvier et début mars pendant la saison des pluies pour éliminer les gros débris végétaux et les mauvaises herbes et conserver autant d'eau que possible dans le sol.

**I. 5. 3. Semis** : Commencez à semer les parcelles à la fin du mois d'août de la deuxième année. Cependant, le sol doit être en pente, donc la date de semis dépend du climat. Suffisamment d'humidité pour que les graines germent.

**I. 5. 4. Récolte** : Une fois le grain mûri, les plants de quinoa sont taillés ou arrachés en avril et mai, selon que le sol est meuble. Sécher au champ pendant 1 à 2 semaines. Le grain est ensuite séparé des pailles par battage et tamisé sur place.

**I. 5. 5. Rendement**: Selon les conditions climatique, le rendement est de 0,4-2 t /ha (Figure 15).



**Figure 15.** Récolte du quinoa

**I. 6. Système de culture mécanisé (Felix, 2004)**

Un champ cultivé avec un tracteur. Les sols des plaines sont sablonneux et profonds, et le défrichement et le travail du sol par les charrues à disques des tracteurs créent chaque année une plus grande vulnérabilité face à l'érosion éolienne et à une perte de fertilité importante. L'itinéraire technique (jachère – quinoa) se fait majoritairement sur deux ans.

**I. 6. 1. Labour** :Des labours jusqu'à 40 cm au tracteur sont réalisés en parallèle des labours manuels de mi-janvier à début février, pendant la saison des pluies.

**I. 6. 2. Semis** : Dans le semis au tracteur, un semoir équipé d'un soc creuse les buttes, empile automatiquement les graines (30 à 50 graines à la fois), puis remplit les buttes avec un gabarit monté à l'arrière.

**I. 6. 3. Récolte :** Un peu comme un système manuel Une fois la culture arrivée à maturité, les plants de quinoa sont taillés ou arrachés en avril et mai, selon que le sol est meuble ou non. Sécher au champ pendant 1 à 2 semaines. Le grain est ensuite séparé des rafles par battage et tamisé sur place (Figure 16).



**Figure 16.** Récolté mécanisée

**I. 6. 4. Contrôle de mauvaises herbes :** Le contrôle des mauvaises herbes n'est pas sans défis, car le quinoa met beaucoup de temps à pousser au cours des deux premières semaines et la plupart des espèces de mauvaises herbes sont des mauvaises herbes à feuilles larges. Les herbicides de prélevée sont les plus recommandés. Un semis tardif favorise la compétition interspécifique. D'autre part, étant donné que la culture de quinoa est déjà établie au moment de sa levée, le semis précoce est un moyen plus efficace de contrôler certaines espèces de quinoa. La première chose à faire est de labourer l'ancien lit en réduisant suffisamment la profondeur de travail à chaque fois pour que les graines non germées n'entrent pas dans le lit de germination. Si les graines sont semées à au moins 35 cm entre les rangs, elles peuvent être coupées à la houe jusqu'à ce que les rangs soient fermés.

# **Chapitre II**

## **Caractérisation chimique du quinoa**

**Chapitre II. Caractérisation chimique du quinoa**

Le quinoa appartient à la famille des Amaranthacées (Chenopodiaceae), il produit donc des graines dicotylédones morphologiquement différentes des autres céréales (Herbillon, 2015). Ces dernières années, une grande attention a été accordée à la haute valeur nutritionnelle de ce grain. Les études se sont concentrées non seulement sur la quantité et la qualité, mais aussi sur la composition et la qualité des nutriments essentiels, et ont accordé une attention particulière aux composés bioactifs du quinoa.

Cependant, les résultats peuvent varier considérablement, et cette variabilité est une conséquence de la grande variété d'échantillons utilisés et du développement de techniques analytiques de plus en plus spécialisées. Les faux grains sont des plantes caractérisées par des graines similaires. Ils sont similaires aux céréales dans leur fonction et leur composition. Il y a 3 cultures dans ce groupe de céréales(Alvarez-Jubete et al., 2010), à savoir, l'Amarante (*Amaranthus spp.*, Amaranthaceae), le Quinoa (*Chenopodium quinoa*, Amaranthaceae, anciennement Chenopodiaceae) et Sarrasin (*Fagopyrum esculentum*, Polygonaceae).

Les grains de quinoa sont très nutritifs car ils contiennent tous les acides aminés de la catégorie des protéines complètes dont le corps humain a besoin et sont supérieurs à de nombreux grains en termes de quantité et de qualité de protéines. En fait, le quinoa contient 11 à 22% de protéines, tandis que les céréales n'en contiennent généralement que 7 à 13%. Il a également une composition complète et relativement équilibrée d'acides aminés essentiels, ce qui le rend compatible avec la plupart des céréales et même certaines légumineuse (Kozioł, 1992; Schlick & Bubenheim, 1996; Wright et al., 2002).

**II. 1. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild) comme ressource proteique**

Le quinoa a pour principales propriétés d'être très riche en protéines, fibres et minéraux, sans gluten et, comme la viande, de rassembler tous les acides aminés essentiels que le corps humain ne peut synthétiser seul. Il contient environ 15 % de protéines et sa composition en acides aminés est plus équilibrée que la plupart des autres céréales.

**II. 1. 1. Protéines**

L'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture a montré que la protéine de quinoa contient des acides aminés essentiels et est donc qualitativement équivalente à la protéine présente dans le lait maternel. Les protéines existe principalement en trois formes :

**II. 1. 1. 1. Protéines de stockage**

Les protéines de stockage peuvent être définies comme des protéines dont la fonction première est de fournir les éléments nécessaires au développement des jeunes plantes . Ils sont déposés dans un corps protéique constitué d'une matrice protéique contenant un ou plusieurs cristaux sphériques contenant du magnésium, du potassium et du phosphore. On le trouve dans l'embryon et l'endosperme des graines de quinoa.

Généralement la pluspartie des protéines de stockage peuvent être classées en 4 groupes principaux (Prego et *al.*, 1998), à savoir, la globuline qui est classée en deux classes différentes en fonction de ses propriétés et leurs coefficient de sédimentation, dont on cite : globuline 11S, globuline 7S, albumine et prolamine.

Les principales fractions protéiques du quinoa sont la globuline et l'albumine. Ces protéines ont été particulièrement caractérisées et, comme d'autres plantes dicotylédones, sont principalement de type 11S et 2S (Brinegar & Goundan, 1993).

Les principales globulines de type 11S qui représentent 37% de la teneur totale en protéines ont été nommées «chénopodine», suivant la tradition de dénomination des noms communs dérivés de genres végétaux tels que la globuline de soja 11S, glycine max, (glycinine). L'autre protéine majeure est le type 2S qui représente 35% de la teneur totale en protéines, également appelée albumine. (Osborne, 1924).

Obtenir des protéines de haute qualité à partir des aliments est essentiel pour certaines personnes dans le monde, en particulier celles qui consomment très peu de protéines animales et qui ont besoin de les obtenir à partir d'autres substituts et compléments alimentaires tels que les céréales, les légumineuses et d'autres graines. Même avec un apport énergétique adéquat provenant de ces aliments, la consommation de niveaux insuffisants de ces protéines essentielles peut augmenter la prévalence de certaines maladies liées à la malnutrition.

**II. 1. 1. 2. Acides amines**

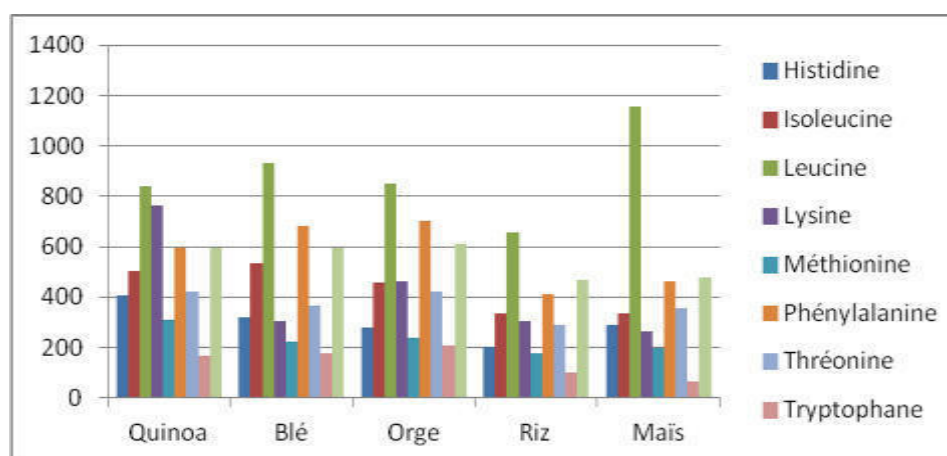
La protéine de quinoa ne contient pas de prolamines, la principale protéine de réserve que l'on trouve dans les céréales traditionnelles. Ces prolamines sont collectivement appelées "gluten" et provoquent des réactions auto-immunes chez les personnes atteintes de la maladie coeliaque(Tapia, 1979). L'avantage unique des graines de quinoa est leur teneur élevée en protéines totales de 12 à 24 %. La concentration moyenne en protéines du quinoa est supérieure à celle des céréales ordinaires telles que le riz (7,9 %), l'orge (12,5 %) et le maïs (9,4 %) et comparable au blé (13,7 %) (Kozioł, 1992) (Tableau 7) .

## Chapitre II.....Caractérisation chimique du quinoa

**Tableau 7:** Différentes composition des acides aminés et le teneur protéiques de quinoa compartivement avec d'autres céréales en (mg/100g)

	Quinoa	Blé	Orge	Riz	Maïs
<b>Histidine</b>	407	322	281	202	287
<b>Isoleucine</b>	504	533	456	336	337
<b>Leucine</b>	840	934	848	657	1155
<b>Lysine</b>	766	303	465	303	265
<b>Méthionine</b>	309	221	240	179	197
<b>Phénylalanine</b>	593	681	700	410	463
<b>Thréonine</b>	421	366	424	291	354
<b>Tryptophane</b>	167	176	208	101	67
<b>Valine</b>	594	594	612	466	477

L'équilibre des acides aminés dans les protéines de quinoa est considéré comme un excellent équilibre, qui s'incarne dans les propriétés de stockage distinctes des protéines, des albumines et des globulines, dont la composition en acides aminés diffère grandement de la composition des prolamines de grains ordinaires, car les grains ordinaires contiennent un faible pourcentage d'acide glutamique et de proline, alors qu'il est riche en acides aminés essentiels tels que la lysine, qui est l'acide aminé limitant dans la plupart des céréales, et la cystéine et la méthionine, l'acide aminé soufré que l'on trouve dans la plupart des légumineuses (Abugoch *et al.*, 2008) (Figure 17).



**Figure 1:** Acides aminés de quinoa compartivement à d'autres céréales (mg/100g)

En plus d'être plus riche en acides aminés que les autres céréales et légumineuses, le quinoa contient un niveau intéressant d'acides aminés semi-essentiels. Par exemple, le blé contient plus de trois fois plus d'histidine, un composé essentiel pour les nourrissons

## **Chapitre II.....Caractérisation chimique du quinoa**

humains qui ne peut être synthétisé qu'à l'âge adulte, tout comme le blé , par conséquent, il est recommandé que les nourrissons intègrent cet acide aminé dans leur alimentation pendant les premières années de leur développement, en particulier pendant les périodes de la petite enfance et même de l'adolescence. Quant à l'arginine, elle est considérée comme un acide aminé essentiel pour la croissance des enfants et est considérée comme aussi importante que l'histidine, et pour cette raison les chercheurs considèrent désormais l'incorporation de quinoa dans l'alimentation des enfants comme très importante pour leur croissance (FAO, 2014).

### **II. 1. 1. 3. Inhibiteurs de protéases**

Les inhibiteurs de protéase sont des groupes de protéines qui deviennent très stables et stables en présence d'enzymes protéolytiques. Dans la nature, ces composés sont abondants et omniprésents en général, et en particulier dans les aliments végétaux. Les plus courants d'entre eux sont les inhibiteurs de la trypsine, mais de très faibles niveaux ont été signalés dans le quinoa, de 1,36 à 5,04 TUI/mg. Une autre étude ultérieure a révélé que le quinoa n'avait pas d'activité anti-protéase, ou du moins une activité anti-protéase, le cas échéant, qui ne pouvait pas dépasser la limite de détection de la méthode utilisée (Kakade et al., 1969; Romero, 1981).

### **II. 1. 1. 4. Lectines**

Les lectines ou hémagglutinines sont des glycoprotéines qui diffèrent des protéines d'origine immunitaire. Les lectines sont présentes dans tous les organismes vivants, y compris les organismes microscopiques tels que les virus, les bactéries et d'autres organismes tels que les insectes, les animaux et les plantes (Grant et al., 1995). Les lectines peuvent lier les glucides de manière spécifique et réversible et ne montrent aucune activité enzymatique sur leurs substrats. Elles interagissent également avec les glucides à la surface des globules rouges provoquant une agglutination des globules rouges chez les humains et les animaux. Les graines de quinoa contiennent un très faible pourcentage de lectines, estimé à 8-10 ha/kg dans la farine de quinoa (Lis & Sharon, 1998) .

### **II. 1. 1. 5. Glucides**

Les glucides font partie des composants principaux de la graine de quinoa et représentent 66% à 75% du pourcentage de matière sèche de la graine (Jancurová et al., 2009). Les glucides sont principalement constitués des trois principaux composants, à savoir, l'amidon, les fibres solubles et insolubles et les sucres simples.

\* **Amidon** : L'amidon est un complexe composé de deux éléments principaux, le polymère amylose, qui se caractérise par sa capacité à former un gel lorsqu'il est dissous dans de

## **Chapitre II.....Caractérisation chimique du quinoa**

l'eau à 80°C, et l'amylopectine, qui est la plus abondante et caractérisée par son insolubilité dans l'eau. Le pourcentage d'amylose dans l'amidon de quinoa varie beaucoup, avec une moyenne totale estimée à 11 %. D'autre part, l'amidon de quinoa contient des niveaux très élevés d'amylopectine, ce qui en fait un excellent candidat pour les processus de congélation-décongélation car il lui confère une consistance et une stabilité tangibles.

L'amidon de quinoa est principalement stocké dans les cellules germinales de la graine, avec de petites quantités également présentes dans le tégument et l'embryon. Ils sont présents sous forme de gros agrégats ou de granules constitués de centaines de granules polygonaux individuels et mesurent environ 1 µm (0,08–2,0 µm) de diamètre (Atwell et al., 1983).

En effet, l'amidon de quinoa cristallise à des températures relativement basses estimées à 57°C à 71°C. L'amidon de quinoa se caractérise par sa viscosité élevée et sa grande capacité à stocker et retenir l'eau, en plus de sa capacité à gonfler. De plus, l'amidon de quinoa a montré une grande sensibilité enzymatique et une excellente stabilité lors des processus de congélation. L'importance de l'amylose est qu'elle affecte grandement les propriétés de la farine d'amidon et affecte ses fonctions physiques et chimiques (Atwell et al., 1983; Koziół, 1992).

\* **Fibres alimentaires** : Les fibres sont un ensemble complexe de substances d'origine végétale qui échappent à l'action des enzymes digestives et à l'absorption par l'intestin. Ils sont envoyés directement dans le côlon où ils sont totalement ou partiellement fermentés par des bactéries du côlon. Bien qu'il n'ait aucune valeur nutritive apparente, il reste indispensable au meilleur fonctionnement du système de transit intestinal. Ces polymères sont complexes et volumineux et partagent un polysaccharide commun. On sait maintenant que ces résidus ont de nombreux effets positifs sur la santé d'humme (Graf et al., 2014) .

Il existe deux types de fibres Les fibres solubles dans l'eau et fibres insolubles dans l'eau. Les fibres alimentaires se composent environ de 80,0 % de fibres alimentaires insolubles et environ 20% de fibre alimentaire soluble. Le quinoa est essentiellement représenté par le xyloglucane, les polysaccharides pectiques varient en quantité et en structure selon le type. les fibres alimentaire insolubles composés en principale de les acide de , glucose galacturonique , de xylose , d'arabinose, et de galactose (Lamothe et al., 2015). D'autre part, les fibres alimentaires solubles contiennent en principale de l'arabinose glucose, et acide galacturonique. les graines de quinoa contiennent au total 10 à 14 types de fibres alimentaires, en particulier dans l'embryon. Bien que cette teneur totale en fibres

## **Chapitre II.....Caractérisation chimique du quinoa**

soit comparable à celle des autres céréales, la composition en fibres du quinoa ressemble davantage à celle des fruits, des légumes et des légumineuses (Valencia-Chamorro, 2003).

\* **Sucres simples** : Les graines de quinoa contiennent environ 3,5 sucres, principalement du maltose, suivi du D-galactose et du D-ribose, et de petites quantités de fructose et de glucose.

### **II. 1. 1. 6. Lipides et composés lipidiques**

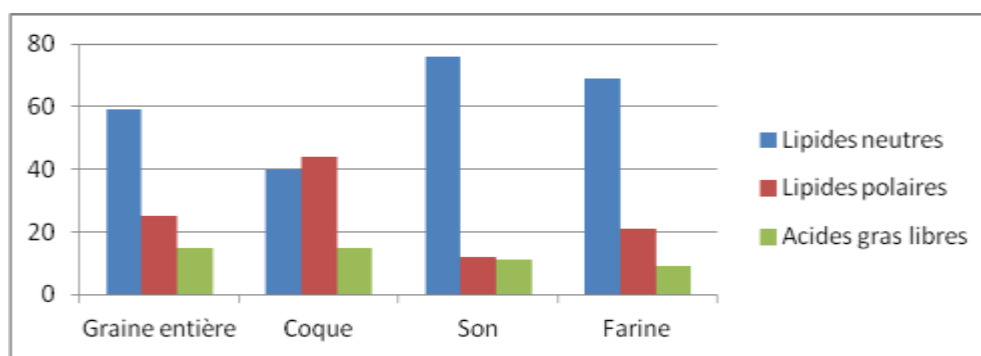
La teneur en lipides des graines de quinoa varie selon la variété et la méthode de quantification utilisée, mais est en moyenne de 6 %, soit deux à trois fois plus élevée que les autres céréales, ce qui en fait une source potentielle d'extraction d'huile. Les lipides sont contenus dans les cellules de l'endosperme des graines de quinoa et dans les corps lipidiques, éléments de stockage du tissu embryonnaire (Prego *et al.*, 1998).

Des niveaux élevés de graisses neutres ont été détectés dans les graines entières de quinoa et leur pourcentage a été estimé à environ 56 %, et ils ont également été estimés dans le reste des graines après que chaque partie a été analysée séparément avec 40 % dans les cosses, 76% dans le son. et 70% dans la farine. Les triglycérides représentent la plus grande proportion car ils constituent 70% des graisses neutres, suivis des graisses binaires. Il est également présent dans toute la graine et représente 20% du pourcentage de graisse neutre, les monoglycérides et les cires étant minoritaires (Kozioł, 1992; Mujica Sánchez *et al.*, 2021; Prego *et al.*, 1998) (Tableau 8).

**Tableau 8:** Estimation du pourcentage de matières grasses dans différentes parties des graines de quinoa (%) (Kozioł, 1992).

	Graines entières	Coque	Son	Farine
Lipides neutres	60	41	75,6	70
Lipides polaires	25	45	11,3	22
Acides gras libres	20	15,8	12,1	9,5

Les principaux lipides polaires présents dans les graines entières de quinoa sont : Lysophosphatidyléthanolamine, phosphatidyléthanolamine, phosphatidylcholine, phosphatidyl-inositol. Par contre, les phospholipides dans la farine et dans le son de quinoa, les plus importants sont la phosphatidylcholine et la lysophosphatidyléthanolamine (Schoenlechner *et al.*, 2008) (Figure 18).



**Figure 18.** Lipides polaires présents dans les graines entières de quinoa

Bien que la graisse soit avant tout une source d'énergie, elle fournit également des composants qui jouent de nombreux autres rôles, notamment les acides gras, dont certains sont de plus en plus reconnus. Les avantages potentiels pour la santé sont de plus en plus reconnus (tableau 9).

**Tableau9:** Comparaison de la composition en acides gras entre de blé le maïs et des graines de quinoa, (g/100g) (Alvarez-Jubete et al., 2010; Valencia-Chamorro, 2003).

	<b>Quinoa</b>	<b>Blé</b>	<b>Maïs</b>
<b>Saturés</b>	14	27,3	15,4
<b>Monoinsaturés</b>	28,1	13,4	30
<b>Polyinsaturés</b>	57,5	59,5	54,6

Les acides gras présents dans les graines de quinoa en font une huile très nutritive, mais ses bienfaits ne s'arrêtent pas là. Ses effets protecteurs sur le système cardiovasculaire ne sont plus prouvés, mais le pourcentage élevé d'acides gras insaturés dans le quinoa, qui est supérieur à 85 %, est supérieur au total des acides gras saturés estimé à 14 % (Prego et al., 1998).

**II. 1. 1. 6. Minéraux**

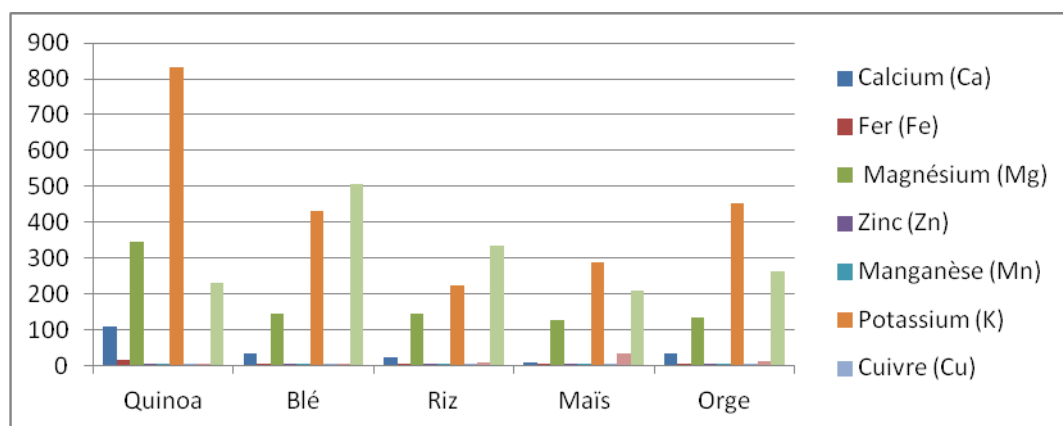
\* **Minéraux simples** : Diverses analyses de la composition des graines de quinoa ont confirmé qu'il s'agit d'une céréale riche en minéraux, tels que le magnésium, le fer, le calcium, le potassium, le phosphore et d'autres éléments. Il contient également des quantités importantes de sodium, de cuivre, de manganèse et de zinc. Les graines de quinoa sont également très riches en sels minéraux et en micronutriments, par rapport à la plupart des céréales telles que le maïs, le blé, l'orge, le riz et d'autres céréales.(Alvarez-Jubete et al., 2010) (Tableau 10).

## Chapitre II.....Caractérisation chimique du quinoa

**Tableau 1:** Comparaison entre le contenu de minéraux du quinoa et d'autres céréales (mg/100g).

Minéraux	Quinoa	Blé	Riz	Maïs	Orge
Calcium (Ca)	111	35	24	5	34
Fer (Fe)	17	3,62	1,57	2,91	36
Magnésium (Mg)	344	154	142	327	233
Zinc (Zn)	3	4,26	2,03	221	2,76
Manganèse (Mn)	4,5	3,13	3,843	0,585	1,743
Potassium (K)	834	432	225	387	352
Cuivre (Cu)	3,90	0,545	0,287	0,324	0,898
Sodium (Na)	4,50	3	9	65	16
Phosphore (P)	227,42	507	433	230	274

Une étude de la distribution des minéraux dans les graines de quinoa a montré que certains minéraux comme le phosphore, le magnésium et le potassium sont concentrés spécifiquement dans le tissu embryonnaire. Ces minéraux sont les éléments constitutifs des cristaux sphériques de phytine dans la structure protéique. Le calcium et le potassium se trouvent dans le cortex avec des parois cellulaires bien développées, indiquant que ces minéraux sont liés à la pectine (Figure 19).



**Figure 2 :** Comparaison entre le contenu des minéraux dans le quinoa et d'autres céréales (mg/100g).

\* **Oxalates** : Les oxalates sont des composés courants que l'on trouve principalement dans les aliments d'origine végétale, et ils sont classés comme sels inorganiques. Les oxalates sont présents dans les tissus végétaux sous forme d'oxalates solubles et d'oxalates insolubles. Une fois l'oxalate digéré, il est absorbé à des taux allant de 2 % à 20 % dans le

## **Chapitre II.....Caractérisation chimique du quinoa**

tube digestif. Les oxalates sont considérés comme un composant majeur dans la formation des calculs urinaires, causant les types les plus courants de maladies des calculs. Certaines études ont conduit à la nécessité de réévaluer le rôle et la contribution de l'oxalate alimentaire dans l'excrétion urinaire d'oxalate, ainsi que de déterminer ses quantités. dans les aliments connus pour en contenir (Siener et *al.*, 2006).

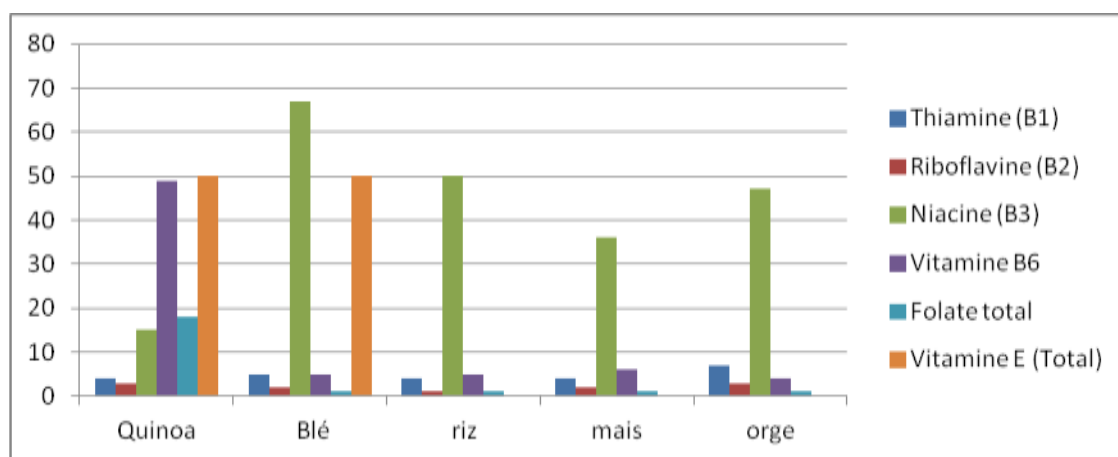
\* **Acide phytique** : L'acide phytique représente 2,06 g/100 g de la teneur en graines de quinoa, soit environ le double de la teneur en oxalate et sa présence dépend du grain qui n'a pas été poli ou lavé. Ces différences sont liées à l'origine des plantes, aux différences de cultivars, aux différences de pourcentage de teneur en minéraux dans le sol et aux effets des méthodes quantitatives utilisées (Kozioł, 1992; Ruales & Nair, 1994). Les phytates et les sels d'acide phytique sont les principales formes de stockage de l'inositol et du phosphore dans les plantes, et ce sont des éléments abondants dans les céréales et les légumineuses, en particulier dans les noix, et largement répandus dans le règne végétal. Les sels de phytate et d'acide phytique s'accumulent rapidement au cours de la maturation. Entre-temps, ces phytates sont dégradés, rendant certains minéraux disponibles pour le développement des semis (Ruales & Nair, 1994) .

### **II. 1. 1. 7. Vitamines**

Les graines de quinoa contiennent une grande quantité de vitamines Il est particulièrement abondant en vitamine B6, riboflavine ,thiamine et acide folique. Niveau de riboflavine Il contient plus d'acide folique que les grains conventionnels. A la contraire, la teneur négligeable en niacine inclus dans la série de référence (Tableau 11, Figure 20).

**Tableau 2:** Comparaison des vitamines de la graine de quinoa avec d'autres céréales ( $\mu\text{g/g}$ ) .

	<b>Quinoa</b>	<b>Blé</b>	<b>Riz</b>	<b>Mais</b>	<b>Orge</b>
<b>Thiamine (B1)</b>	4	4,5	4,71	3	6 ,47
<b>Riboflavine (B2)</b>	3,2	1,61	1,83	2,71	2,87
<b>Niacine (B3)</b>	15,5	68,3	51,9	39,2	47,04
<b>Vitamine B6</b>	47,7	4 ,20	5	6,23	3,20
<b>Folate total</b>	18,5	0,45	2	0,20	0,20
<b>Vitamine E</b>	51,8	50	-	-	-



**Figure 3 :** Teneur en vitamines de la graine de quinoa avec d'autres céréales (µg/g)

### II. 1. 1. 8. Terpènes et stéroïdes

\* **Squalène et phytostérols :** Le squalène est considéré comme l'une des principales sources biosynthétiques de stéroïdes et joue un rôle important et majeur dans la biosynthèse du cholestérol. Environ 60mg/100g de squalène se trouvent dans la partie grasse du quinoa, par rapport à d'autres céréales comme l'orge et le maïs. Sa teneur est supérieure à celle des légumineuses telles que les haricots et les lentilles. Le squalène et les phytostérols sont des composés de la partie grasse non saponifiable (comme le tocophérol) de l'huile de graines de quinoa, tandis que la partie restante représente la partie qui ne se dissout pas ou ne se décompose pas dans l'eau après avoir subi une saponification (Ryan et al., 2007).

\* **Saponines :** Les saponines sont un groupe de composés glycosidiques naturels répandus dans le règne végétal. On les trouve dans environ 500 plantes de plus de 90 familles. Ces composés partagent le fait qu'ils produisent une solution effervescente après avoir été stimulés avec de l'eau. Ils sont considérés comme des composés qui se dissolvent dans l'eau. Ses propriétés tensioactives le distinguent et son nom vient d'une plante appelée (*Saponaria officinalis* L), dont les racines sont largement utilisées depuis des décennies comme savon (Jean, 2009).

\* **Phyto-stéroïdes :** Les graines de quinoa contiennent une très forte proportion de phytostéroïdes, avec une teneur allant de 138 à 570µg/g. Les ecdystéroïdes sont principalement des hormones dont le rôle principal est de contrôler la chute des cheveux et la reproduction des arthropodes. En 1966, des analogues de ces molécules ont été identifiés et établis comme métabolites secondaires utilisés par les plantes qui dépendent des ecdystéroïdes végétaux comme moyen de défense et de protection contre les vers et les

## **Chapitre II.....Caractérisation chimique du quinoa**

insectes. Ces molécules ont créé récemment de multiples effets pharmacologiques ayant un effet bénéfique sur les mammifères, notamment sur la santé humaine, et seules quelques espèces contiennent ces composés (Dinan & Lafont, 2006).

\* **Composés phénoliques** : Les composés phénoliques sont abondants dans les aliments végétaux fortement consommés et sont représentés dans certains métabolites secondaires à activité biologique élevée. Les polyphénols sont constitués de trois types de base : les acides phénoliques, les tanins et les flavonoïdes. Leur rôle est d'agir comme de puissants antioxydants et de protéger contre les maladies de stress oxydatif telles que le cancer, les maladies neurodégénératives, le diabète, les maladies cardiovasculaires et les maladies inflammatoires.

### **II. 1. 1. 9. Pigments**

\* **Caroténoïdes** : Les graines de quinoa contiennent une teneur en caroténoïdes de 14,8 µg/g. Les caroténoïdes sont généralement des pigments naturels d'origine végétale et se caractérisent par leur rôle important et significatif dans le processus de photosynthèse. Les caroténoïdes agissent comme des antioxydants et des hormones végétales et jouent un rôle important dans le maintien de la santé humaine. Ces composés de la famille des terpénoïdes se retrouvent dans de nombreux aliments d'origine végétale, principalement parce que certains d'entre eux sont des homologues ou des métabolites de la vitamine A. (Li et al., 2012).

\* **Bétacyanines** : Le bétacyan est un pigment de la famille des bétalaïnes et est responsable des couleurs rouge à violet. Des études récentes ont montré que les pigments des graines de quinoa rouge et noir sont des bétacyanines, principalement de la bétanine et de l'isobétanin. Dans le passé, les graines de quinoa avaient tendance à contenir des anthocyanes, une autre famille de pigments qui donne au fruit rouge sa couleur bleu-violet profond caractéristique (Tang et al., 2015).

### **II. 1. 1. 10. Valeurs nutritionnelles des graines du quinoa**

Pour certains, le quinoa est une nouvelle alternative nutritive à de nombreuses céréales couramment consommées récemment introduites dans les supermarchés et les restaurants. En effet, cette vision est conforme à la réalité de nombreuses régions du monde, mais le quinoa était l'une des principales cultures vivrières des civilisations précolombiennes d'Amérique latine et reste aujourd'hui une culture vivrière importante pour les peuples quechua et aymara. a noté qu'il reste une culture. Installé dans la campagne des Andes sud-américaines (James, 2009). Ce qui rend le quinoa unique, c'est que les graines sont consommées comme des grains. Généralement, ces aliments sont

## **Chapitre II.....Caractérisation chimique du quinoa**

bouillis et ajoutés aux soupes ou farinés et utilisés pour faire du pain, des boissons et des bouillies. D'un point de vue nutritionnel, il fournit autant d'énergie que les aliments utilisés de manière similaire tels que les haricots, le maïs, le riz et le blé. Le quinoa est également une source importante de protéines, de fibres, d'acides gras polyinsaturés et de sels minéraux de haute qualité. Il fournit de grandes quantités de nombreux nutriments, mais pour être correctement nourri, il doit être intégré à une alimentation équilibrée qui comprend de nombreux autres aliments(Kozioł, 1992) (Tableau 12 & Tableau 13)

**Tableau 3:** Teneurs en macronutriments du quinoa et d'autres aliments (pour 100g de poids sec) (Kozioł, 1992)

	<b>Quinoa</b>	<b>Maïs</b>	<b>Riz</b>	<b>Blé</b>	<b>Haricots</b>
<b>Energie (Kcal/100g)</b>	399	408	372	392	367
<b>Protéines (g/100g)</b>	16 ,5	10,2	7 ,6	14,3	28
<b>Lipides (g/100g)</b>	6,3	4,7	2,2	2,3	1,1
<b>Glucides totaux (g/100 g)</b>	90	81,1	80	78 ,4	61,2

**Tableau 4 :** Valeurs énergétique et nutritionnelles pour 100 g de quinoa(FAO, 2014) ;

<b>Nom des constituants</b>	<b>Unité</b>	<b>Teneur moyenne</b>
Energie	kcal	351
Eau	g	12,7
Protéines	g	14,8
Glucides	g	58 ,5
Fibres alimentaires	g	6,64
Lipides	g	5,04
Sodium	mg	9,6
Magnésium	mg	276
Phosphore	mg	328
Potassium	mg	804
Calcium	mg	80
Manganèse	mg	2,8
Fer	mg	8
Cuivre	mg	0,79
Zinc	mg	2,5
Vitamine B1 ou Thiamine	mg	0,17
Vitamine B2 ou Riboflavine	mg	0,4
Vitamine B3 ou PP ou Niacine	mg	0 ,45

**II. 1. 1. 10. Quinoa : Aliment précieux pour l'avenir**

Aujourd'hui, la santé humaine et la sécurité alimentaire revêtent une importance croissante en tant que préoccupation mondiale. Le changement climatique devrait se produire dans les écosystèmes au cours des prochaines années, compromettant une production alimentaire fiable. D'ici 2050, la population mondiale devrait dépasser les 9 milliards et les besoins alimentaires devraient augmenter de 70 à 100%. Environ 1 personne sur 8 souffre aujourd'hui de malnutrition chronique, et le diabète, l'obésité et d'autres troubles métaboliques sont des épidémies dans le monde entier(FAO, 2014; Tilman et *al.*, 2002).

Accroître l'accès et la sensibilisation à la valeur santé du quinoa est essentiel pour accroître la capacité du quinoa à améliorer la vie de diverses communautés à travers le monde. La culture du quinoa est encore limitée à certaines régions et ne peut répondre à la demande mondiale croissante. Une stratégie consiste à étendre la culture du quinoa à d'autres continents, en particulier dans les régions d'Afrique et d'Asie où le changement climatique et la désertification menacent la production alimentaire. Une deuxième stratégie consiste à diffuser des informations sur la valeur sanitaire du quinoa, ses utilisations, sa biodiversité et ses pratiques agricoles durables(Graf et *al.*, 2015).

# **Chapitre III**

**Intérêt nutritionnelle et  
multiple utilisations  
pharmacologiques du quinoa**

## **Chapitre III. Intérêt nutritionnelle et multiple utilisation pharmacologiques du quinoa**

### **III .1. Interet nutritionnel du quinoa**

#### **III. 1. 1. Gluten-free**

Le gluten est un mélange de deux types de protéines, le premier type est la prolamine, dont les graines de quinoa sont presque totalement exemptes, et le second type est le gluten, qui est une protéine toxique et nocive pour les personnes atteintes de la maladie coeliaque. Le quinoa est désormais classé comme une pseudo-céréale totalement sans gluten. La maladie coeliaque est une maladie causée par une anomalie génétique de l'estomac. Elle peut apparaître à tout âge et est affectée par la consommation de gluten. La sévérité de ses symptômes varie en fonction de la quantité de gluten consommée. Elle provoque des lésions de la muqueuse intestinale. et entraîne des blessures auto-infligées permanentes. Les symptômes de sa consommation sont les flatulences, la diarrhée et la maigreur. Malgré les nombreux bienfaits du quinoa, la commercialisation de ses produits est encore très limitée (Alvarez-Jubete et *al.*, 2010).

#### **III. 1. 2. Fibres alimentaires**

Les graines de quinoa sont riches en fibres alimentaires et sont connues pour leurs effets nutritionnels bénéfiques sur la santé, dont les effets sont notamment liés aux fonctions intestinales. Par divers effets mécaniques, il régule bien le transit et soulage les troubles digestifs(Mujica et al., 2001; Quinoa, 2011). Les fibres solubles deviennent collantes lorsqu'elles entrent en contact avec le liquide dans le côlon, ce qui facilite le glissement des débris. L'abondance de fibres alimentaires dans l'alimentation aide à contrôler le cholestérol dans le sang, stimule la croissance de bactéries bénéfiques dans l'intestin et réduit l'incidence des calculs biliaires. Comme il peut rester dans l'estomac pendant de longues périodes et qu'il a également le potentiel d'absorber de l'eau. En conséquence, le quinoa procure de la satiété après avoir mangé seulement de petites quantités de graines et réduit le risque d'obésité (Bazile et *al.*, 2015; FAO, 2014).

#### **III. 1. 3. Effet bénéfique sur le système cardiovasculaire**

Les graines de quinoa contiennent des acides gras insaturés et des phytostérols qui ont des effets bénéfiques sur le système cardiovasculaire et le taux de cholestérol, facteur de risque connu des maladies cardiovasculaires 93. Effets protecteurs connus sur le système cardiovasculaire. Est d'améliorer le niveau de graisses et de réduire le niveau de cholestérol nocif dans le sang, et certains acides gras aident à augmenter le niveau de

### **Chapitre III.....Intérêt nutritionnelle et utilisation pharmacologiques du quinoa**

cholestérol HDL bénéfique et aident à se débarrasser des triglycérides dans le sang. . Ces acides gras affectent également la tension artérielle, la réponse anti-inflammatoire et les battements cardiaques irréguliers (Ryan et al., 2007). De plus, l'incorporation de graisses insaturées dans l'alimentation s'est avérée beaucoup plus efficace pour réduire le risque de maladie coronarienne que la simple réduction de l'apport en graisses en général. D'autres composés se sont avérés abaisser le taux de cholestérol, tels que les saponines, qui interagissent avec le cholestérol en formant des complexes dans la lumière intestinale et réduisent l'absorption du cholestérol.(Ryan et al., 2007).

#### **III. 1. 3. Effet bénéfique sur le système cardiovasculaire**

En conséquence, les effets anti-obésité observés sont associés à une augmentation globale de la dépense énergétique, un changement dans le schéma du métabolisme et de l'oxydation du glucose (affectant négativement la lipogenèse), et les effets anti-obésité observés sont également associés au taux de graisses alimentaires. absorption avec diminution concomitante des réserves (Graf et al., 2014). Cela peut s'expliquer par les effets moindres de la consommation continue d'extrait de quinoa sur les différents composants impliqués dans le métabolisme de l'échelle énergétique, qui ont également été examinés à l'aide d'un calorimètre indirect.

#### **III. 2. Multiple utilisations pharmacologiques du quinoa**

##### **III. 2. 1. Intérêt médicamenteux du quinoa**

##### **III. 2. 1. 1. Propriétés pharmacologiques**

En plus de sa haute valeur nutritionnelle, le fait que le quinoa contienne de grands groupes de composés médicinaux a suscité la curiosité et l'intérêt des scientifiques et des chercheurs en santé pendant des décennies, et ils ont activement étudié ses effets thérapeutiques au fil des ans. Aujourd'hui, la communauté scientifique alerte sur la valeur thérapeutique et nutritionnelle du quinoa et son importance pour la santé et travaille également à l'évaluation de son potentiel comme ressource pour le développement d'aliments fonctionnels. De plus, certains des composés bioactifs présentent des propriétés pharmacologiques intéressantes qui indiquent des applications potentielles dans les domaines alimentaire et pharmaceutique.

##### **III. 2. 1. 2. Activité anti-inflammatoire**

Certains rapports indiquent que la plupart des plantes contenant des saponines ont des propriétés anti-inflammatoires. Les résultats sur la quinoaponine indiquent également qu'elle peut être utilisée pour prévenir et traiter l'inflammation. Par exemple, il peut être

### **Chapitre III.....Intérêt nutritionnelle et utilisation pharmacologiques du quinoa**

d'un grand bénéfice thérapeutique dans de nombreuses maladies causées par des maladies résultant d'une inflammation, d'une carcinogenèse ou d'une athérosclérose accélérée. L'acide 3- D-glucopyranosyl oléanolique, qui est une saponine extraite des graines de quinoa, caractérisé par sa grande efficacité comme anti-inflammatoire lorsqu'il est pris à des doses allant de 25 à 100 mg/kg (Brinegar & Goundan, 1993; Graf *et al.*, 2015; Hoggui & Khaled, 2019).

Actuellement, la commercialisation des médicaments anti-inflammatoires est principalement limitée à leurs effets secondaires indésirables tels que l'ulcération, qui est un problème fréquent et grave. Dans ce contexte, la recherche de nouveaux composés anti-inflammatoires pour les produits à base de plantes présente un intérêt particulier. Certains rapports indiquent que la majorité des plantes qui contiennent des saponines ont des propriétés anti-inflammatoires, et des preuves sur les quinoasponines indiquent qu'elles peuvent être utilisées pour prévenir et traiter l'inflammation. (Navarro *et al.*, 2001; Suh *et al.*, 1998).

Récemment, l'effet anticancéreux des composés phénoliques du quinoa, qui a été extrait des feuilles de quinoa plutôt que des graines, est à l'étude. Les feuilles de quinoa sont très riches en composés phénoliques contrairement aux autres parties de la plante, et elles ont également des effets bénéfiques dans la prévention ou le traitement de ces maladies. Cette hypothèse met en évidence son potentiel en tant que source de composés bioactifs, mais d'autres études sont nécessaires pour la confirmer (Gawlik-Dziki *et al.*, 2013).

#### **III. 2. 1. 3. Activité anti-oxydation**

<sup>2</sup>Les graines de quinoa contiennent une proportion importante de composés antioxydants tels que des composés biologiquement actifs, car des études ont confirmé que les graisses stables de quinoa peuvent jouer le rôle d'antioxydants malgré sa forte teneur en acides gras insaturés.

#### **III. 2. 1. 4. Activité anti-ulcéreuse**

L'isolement des polysaccharides des graines a montré certaines observations liées aux activités biologiques anti-ulcéreuses et à la protection de la paroi de l'estomac contre les infections. Dans le cas particulier de l'éthanol provoquant des ulcères gastriques, on pense que les polysaccharides inversent ce mécanisme. La barrière muqueuse est un facteur très important et un élément clé dans la protection de la muqueuse gastrique contre les attaques d'ulcère gastrique aigu, car elle empêche la pénétration de facteurs nécrotiques

### **Chapitre III.....Intérêt nutritionnelle et utilisation pharmacologiques du quinoa**

dans la paroi de l'estomac, car les sucres augmentent la capacité à créer du mucus. nécessité d'utiliser ces sucres dans les prescriptions de traitement préventif des ulcères gastriques(da Silva & Parente, 2010).

#### **III. 2. 1. 5. Absorption des médicaments**

Les saponines extraites des graines de quinoa ont été évaluées comme un agent muqueux important lorsqu'elles sont ingérées dans l'estomac ou dans le nez. La combinaison de saponines avec des toxines cholériques ou des saponines et de l'albumine améliore les réponses en anticorps et les déterminants antigéniques dans les sécrétions sériques, gastro-intestinales et pulmonaires. On pense que l'effet stimulant des saponines est médié en partie par un efflux muqueux accru, ce qui conduit à une absorption accrue d'antigènes. Certaines saponines naturelles augmentent l'absorption intestinale des médicaments lorsqu'elles sont prises ensemble (da Silva & Parente, 2010; James, 2009).

Des études ultérieures ont montré que les saponines affectent la perméabilité intestinale, et que certaines provoquent des changements dans son niveau, et ont prouvé que les saponines extraites du quinoa avaient une telle activité avec un mécanisme d'action distinct et spécialisé. En effet, ce sont principalement les saponines monomères qui sont capables de traverser les membranes biologiques grâce à leurs chaînes latérales lipophiles (Estrada et al., 1998) .

#### **III. 2. 1. 6. Activité molluscicide**

Des produits extraits des téguments de quinoa et des saponines ont été développés et testés sur certains ravageurs agricoles qui affectent gravement les cultures de riz dans plusieurs pays asiatiques. Lorsque les peelings ont été soumis à un traitement alcalin, les saponines de type BDSAMOsides se sont transformées en monoamide, considéré comme très actif par rapport au premier type.

Comprendre le mécanisme de la possibilité d'augmenter l'activité de ces composés nécessite davantage d'études. Actuellement, les produits dérivés des quinoaponines, en particulier les gélules, ne sont pas disponibles sur les marchés commerciaux. L'un des avantages du produit développé est qu'il est non toxique pour certains organismes même à sa concentration la plus élevée. Bien que très efficace contre les limaces, il a le potentiel d'être une alternative commerciale respectueuse de l'environnement (Herbillon, 2015).

#### **III. 2. 1. 6. Activité antifongique**

Les études menées par Stuardo et San Martín sur l'activité antifongique des graines de *Chenopodium quinoa* ont démontré leur grande efficacité, car il a été constaté que

### **Chapitre III.....Intérêt nutritionnelle et utilisation pharmacologiques du quinoa**

l'activité des saponines à leur niveau est généralement inférieure à l'activité des aglycones seuls. Il a également été constaté que certaines chaînes carbonées C3 qui contiennent des caractéristiques de perméabilité membranaire contiennent également des saponines antifongiques, et la perte de ces propriétés entraîne directement la perte d'activité biologique (Woldemichael & Wink, 2001).

#### **III. 2. 2. Potentialités et propriétés du quinoa**

##### **III. 2. 2. 1. Propriétés antinutritionnelles**

Les antinutriments sont des composants biologiquement actifs que l'on trouve en abondance et à grande échelle dans tout le règne végétal. Ces composés sont naturellement présents dans les plantes destinées à l'alimentation humaine ou dans les plantes utilisées pour l'alimentation animale. Ces composés résultent d'une contamination fongique ou d'un sol inadapté à la culture. Ils peuvent être le résultat de D'autres complications environnementales indésirables de la consommation d'antinutriments sont une diminution de l'absorption des nutriments et une mauvaise digestion (FAO, 2014; Mujica *et al.*, 2001).

##### **III. 2. 2. 2. Effet sur la croissance**

Les saponines font partie des principaux antioxydants présents dans les graines de quinoa. Des études ont montré que les animaux nourris avec du quinoa amer non lavé ont une plus grande aversion pour celui-ci et réduisent l'efficacité de la conversion alimentaire (une mesure de l'efficacité de l'alimentation chez les animaux qui prennent du poids) et il a été démontré qu'ils provoquent un retard de croissance.

##### **III. 2. 2. 3. Effet sur la digestion et l'utilisation des minéraux**

L'acide phytique affecte fortement le taux d'absorption des minéraux en raison de la forme de la structure de l'acide phytique. Dans l'état physiologique normal, l'acide phytique porte des charges négatives élevées et a la capacité de former des complexes avec des cations polyvalents chargés positivement. Ces complexes sont solubles dans le milieu acide de l'estomac mais se précipitent dans l'intestin lorsque le pH est neutre, réduisant l'absorption des minéraux et oligo-éléments et créant des risques de carence (Gandarillas, 1968). Cependant, le quinoa est riche en minéraux essentiels et il a été constaté qu'un apport excessif en phytates provoque des carences en minéraux, en particulier dans l'alimentation des enfants (FAO, 2014). Ces composés constituent donc un obstacle à la recherche visant à utiliser le quinoa comme source nutritionnelle de base pour les préparations pour nourrissons.

**III. 2. 2. 4. Effet sur la digestion et l'utilisation des protéines**

Les composés que les phytates forment avec les minéraux affectent à la fois les protéines et les peptides. Ils réduisent les protéines et leur biodisponibilité et modifient leur activité enzymatique. Par exemple, il a été démontré qu'il inhibe l'activité de l'amylase, une enzyme protéase intestinale. De plus, les phytates affectent directement et négativement l'utilisation des protéines, ce qui est une préoccupation pour les personnes qui dépendent principalement des aliments végétaux. De plus, il a été rapporté que le phytate forme des complexes protéiques avec des valeurs de pH variant de faible à très élevée. Ces complexes affectent la structure de la protéine, la changeant pour devenir insoluble, ainsi qu'affectant son activité enzymatique.

**III. 2. 2. 5. Effet sur l'oxalurie**

La consommation d'un pourcentage élevé d'oxalate entraîne dans certains cas une insuffisance rénale aiguë ou provoque une augmentation de l'oxalate dans les urines, et son traitement commence principalement par la limitation de la consommation d'aliments riches en oxalate après avoir déterminé les recommandations nutritionnelles nécessaires (Holmes et al., 1995; Siener et al., 2006). Les graines de quinoa contiennent des quantités suffisantes d'oxalate, elles doivent donc être évitées en excès par les patients souffrant d'hyperoxalurie et doivent être consommées avec prudence. Un apport normal en calcium est également essentiel pour ces patients, car un faible apport en calcium dans l'alimentation entraîne une augmentation de l'absorption intestinale et de l'excrétion d'oxalate dans l'urine (Siener et al., 2006).

**III. 2. 2. 6. Elimination des facteurs antinutritionnels**

Une étude détaillée de la composition des graines de quinoa a montré qu'il existe de multiples interactions entre les nutriments et les anti-nutriments au sein de la plante, les recommandations diététiques ne peuvent donc pas se baser uniquement sur les valeurs nutritionnelles de l'aliment. Heureusement, les solutions pour éliminer partiellement ou complètement ces facteurs anti-nutritionnels ou réduire leurs effets néfastes existent déjà.

**III. 2. 2. 1. inhibiteurs de trypsine**

Il y a des niveaux élevés d'inhibiteurs de la trypsine dans les graines de quinoa, et elles sont largement consommées comme nourriture humaine. Certaines études ont montré plus tard que les inhibiteurs de la trypsine dans les graines de quinoa sont minimes et ne constituent pas une menace pour la santé humaine. Les inhibiteurs de la trypsine sont

### **Chapitre III.....Intérêt nutritionnelle et utilisation pharmacologiques du quinoa**

résistants aux températures. Ces facteurs anti-nutritionnels peuvent être facilement inactivés par ébullition, extrusion ou lavage à la chaleur (Romero, 1981; Ruales & Nair, 1994).

#### **III. 2. 2. 8. Alternative allergisante**

L'absence de gluten fait du quinoa un aliment idéal pour les personnes atteintes de la maladie cœliaque, car il a été démontré que le quinoa contient moins de composés pouvant provoquer des réactions d'hypersensibilité que les blancs d'œufs et le lait, et à peu près autant que le soja.(Kozioł, 1992).

# **Conclusion**

## **Conclusion**

Le quinoa appartenant à la famille des Graines, mais il appartient à la famille des Amarantacées, dans le même groupe de "fausses graines" que l'amarante et le sarrasin. Le quinoa se caractérise par sa grande résistance et son adaptabilité aux conditions de vie difficiles, il peut donc survivre au gel, à la sécheresse, au vent, à la salinité et au manque d'éléments nécessaires à la croissance dans le sol.

Il y a cinquante ans, le scientifique a redécouvert cette plante et s'est intéressé à l'excellente composition chimique de ses graines. Les graines contiennent des acides aminés essentiels et 12 à 24 protéines hautement nutritives, dont la lysine et la méthionine présentes dans le grain. Ou les légumineuses ne sont utilisées que dans une mesure limitée. De plus, le quinoa contient des niveaux intéressants d'histidine et d'arginine, qui sont des acides aminés essentiels pour le développement des nourrissons et des enfants, suggérant son utilisation dans l'alimentation des nourrissons.

Les graines contiennent certains acides gras polyinsaturés, principalement de l'acide linoléique (oméga-3) et de l'acide alpha-linolénique (oméga-6) dans les proportions recommandées. Il contient également beaucoup de vitamines et de minéraux, notamment du fer, du calcium, du phosphore, du magnésium et du potassium. Même si la biodisponibilité de tous ces nutriments est menacée par la présence de substances anti-nutritives dans les graines, il existe des solutions pour les éliminer en tout ou en partie.

Le quinoa est sans gluten, ce qui en fait un aliment précieux pour les personnes atteintes de la maladie coeliaque, qui développent souvent des carences nutritionnelles en raison de restrictions alimentaires et du manque d'options alimentaires. De plus, les graines sont particulièrement riches en glucides et ont un pourcentage élevé d'amidon.

Des recherches récentes se sont concentrées sur l'étude détaillée des composés bioactifs présents dans les graines. Elle a montré que certains de ces matériaux sont caractérisés par des propriétés médicinales qui indiquent la possibilité d'utiliser le quinoa comme source d'ingrédients actifs dans les formulations pharmaceutiques et que les saponines ont des effets efficaces en tant que matériaux et supports auxiliaires pour réduire les symptômes des ulcères muqueux. D'autres ingrédients ont des effets bénéfiques sur la santé humaine en plus de leurs précieuses propriétés nutritionnelles. Une alimentation riche en quinoa peut également aider à contrôler le taux de cholestérol, réduisant ainsi le risque de maladies cardiovasculaires.

En raison de ces propriétés bénéfiques, le quinoa a tendance à être considéré comme un véritable "aliment fonctionnel". Par conséquent, le quinoa fait partie intégrante des stratégies de lutte contre la faim et la malnutrition dans le monde, ainsi que de la lutte du quinoa contre les maladies chroniques, car il peut être une source majeure dans l'industrie des compléments alimentaires, car le quinoa représente une alternative saine à ce qui est actuellement appelé "compléments nutritionnels". L'amélioration et le développement du quinoa sont limités aux secteurs scientifique et agricole, qui sont encore confrontés à de grands défis pour renforcer le rôle de cette espèce sur la nutrition mondiale et la santé humaine.

# **Références bibliographiques**

## References bibliographiques

- Abugoch, L. E., Romero, N., Tapia, C. A., Silva, J., & Rivera, M. (2008). Study of some physicochemical and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) protein isolates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(12), 4745-4750.
- Adolf, V. I., Jacobsen, S.-E., & Shabala, S. (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, 92, 43-54.
- Alvarez-Jubete, L., Arendt, E. K., & Gallagher, E. (2010). Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 21(2), 106-113.
- Atwell, W., Patrick, B., Johnson, L., & Glass, R. (1983). Characterization of quinoa starch [*Chenopodium quinoa*, cereal crop, nutritive value, protein]. *Cereal chemistry*.
- Bazile, D., Bertero, H. D., & Nieto, C. (2015). State of the Art Report on Quinoa around the World in 2013. In: FAO.
- Bois, J.-F., Winkel, T., Lhomme, J.-P., Raffailac, J.-P., & Rocheteau, A. (2006). Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to temperature: effects on germination, phenology, growth and freezing. *European Journal of Agronomy*, 25(4), 299-308.
- Boukhalat, M., & Chellali, O. (2021). L'effet du stress salin sur le comportement de quelques variétés du quinoa cultivée dans la région de M'sila Université Mohamed BOUDIAF-M'sila.
- Brinegar, C., & Goundan, S. (1993). Isolation and characterization of chenopodin, the 11S seed storage protein of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 41(2), 182-185.
- Brownawell, A. M., Caers, W., Gibson, G. R., Kendall, C. W., Lewis, K. D., Ringel, Y., & Slavin, J. L. (2012). Prebiotics and the health benefits of fiber: current regulatory status, future research, and goals. *The Journal of nutrition*, 142(5), 962-974.
- Chenine, R., & Sahli, Z. (2020). Intérêt du Quinoa dans l'industrie Alimentaire et Pharmaceutique Master Sciences biologique, Université Kasdi Merbah, OUARGLA.
- Craine, E. B., & Murphy, K. M. (2020). Seed composition and amino acid profiles for quinoa grown in Washington State. *Frontiers in Nutrition*, 7, 126.
- da Silva, B. P., & Parente, J. P. (2010). Chemical properties and antiulcerogenic activity of a galactomannoglucan from *Syagrus oleracea*. *Food chemistry*, 123(4), 1076-1080.

- Danielsen, S., Bonifacio, A., & Ames, T. (2003). Diseases of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food reviews international*, 19(1-2), 43-59.
- Dinan, L., & Lafont, R. (2006). Effects and applications of arthropod steroid hormones (ecdysteroids) in mammals. *Journal of endocrinology*, 191(1), 1-8.
- Dominguez, J. (2014). Caracterización agromorfológica de progenies autofecundadas S4, procedentes de cruces simples, genéticamente distantes y cercanas en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en condiciones de campiña de Arequipa. *Universidad Nacional de San Agustín*.
- Estrada, A., Li, B., & Laarveld, B. (1998). Adjuvant action of *Chenopodium quinoa* saponins on the induction of antibody responses to intragastric and intranasal administered antigens in mice. *Comparative immunology, microbiology and infectious diseases*, 21(3), 225-236.
- FAO, I. (2014). Strengthening the enabling environment for food security and nutrition. *The State of Food Insecurity in the World*, 1-57.
- Felix, D. (2004). Diagnostic agraire de la Province Daniel campos, Bolivie. Le développement de la filière quinoa et ses conséquences sur l'équilibre du système agraire des Aymaras de la marca Llica-Tahua. *Agronomie tropicale. Montpellier, CNEARC-ENSAM. Ingénieur agronome*, 113.
- Gandarillas, H. (1968). Caracteres botánicos más importantes para la clasificación de la quinua. *Anales de la Primera convención de Quenopodiáceas quinua-cañahua. Puno, Perú, 19968*, 41-49.
- Gandarillas, H. (1968). Razas de quinua. Bolivia, Ministerio de Agricultura. División de Investigaciones Agrícolas. *Boletín Experimental*(4), 53.
- Gawlik-Dziki, U., Świeca, M., Sułkowski, M., Dziki, D., Baraniak, B., & Czyż, J. (2013). Antioxidant and anticancer activities of *Chenopodium quinoa* leaves extracts—in vitro study. *Food and chemical toxicology*, 57, 154-160.
- Graf, B. L., Poulev, A., Kuhn, P., Grace, M. H., Lila, M. A., & Raskin, I. (2014). Quinoa seeds leach phytoecdysteroids and other compounds with anti-diabetic properties. *Food chemistry*, 163, 178-185.
- Graf, B. L., Rojas-Silva, P., Rojo, L. E., Delatorre-Herrera, J., Baldeón, M. E., & Raskin, I. (2015). Innovations in health value and functional food development of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 14(4), 431-445.

- Grant, G., More, L., McKenzie, N., Dorward, P., Buchan, W., Telek, L., & Pusztai, A. (1995). Nutritional and haemagglutination properties of several tropical seeds. *The Journal of Agricultural Science*, 124(3), 437-445.
- Herbillon, M. (2015). Le quinoa: intérêt nutritionnel et perspectives pharmaceutiques.
- Higuchi, A., Maehara, R., & Sánchez-Pérez, L. d. I. Á. (2022). Factors related to Quinoa Consumption in Peru during the COVID-19 Pandemic. *Innovar*, 32(86), 27-42.
- Hoggui, H., & Khaled, H. (2019). Contribution à l'étude de l'introduction de l'espèce de Quinoa dans la wilaya d'El Oued.
- Holmes, R. P., Goodman, H. O., & Assimos, D. G. (1995). Dietary oxalate and its intestinal absorption. *Scanning Microscopy*, 9(4), 16.
- Hopkins, W. (2003). Physiologie végétale. 2 ème édition. de Boeck. *Universite rue des Minimes*.
- Ignacio, Q., Fernandez, C., & Cortes, G. (1976). Contribución al estudio morfológico del grano de quinua. *la segunda convención Internacional de Q Quenopodiaceas. Universidad Boliviana Tomas Rias, Comité Departamental de Obras Públicas, Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas, Potosí. Bolivia*, 58-60.
- Jacobsen, S.-E., Monteros, C., Corcuera, L. J., Bravo, L. A., Christiansen, J. L., & Mujica, A. (2007). Frost resistance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *European Journal of Agronomy*, 26(4), 471-475.
- Jacobsen, S.-E., & Stølen, O. (1993). Quinoa-morphology, phenology and prospects for its production as a new crop in Europe. *European Journal of Agronomy*, 2(1), 19-29.
- Jacobsen, S., Quispe, H., & Mujica, A. (1999). Quinoa: an alternative crop for saline soils in the Andes. *Scientist and farmer-partners in research for the 21st century. CIP Program Report, 2000*, 403-408.
- James, L. E. A. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): composition, chemistry, nutritional, and functional properties. *Advances in food and nutrition research*, 58, 1-31.
- Jancurová, M., Minarovičová, L., & Dandar, A. (2009). Quinoa—a review. *Czech Journal of Food Sciences*, 27(2), 71-79.
- Jean, B. (2009). *Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales (4e éd.)*. Lavoisier.
- Jianhong, Z. (2002). The chemical composition and nutrition of quinoa. *Journal of Chengdu University (natural Science Edition)*, 21(2), 24-28.
- Johnson, I., Gee, J. M., Price, K., Curl, C., & Fenwick, G. (1986). Influence of saponins on gut permeability and active nutrient transport in vitro. *The Journal of nutrition*, 116(11), 2270-2277.

- Kakade, M., Simons, N., Liener, I. (1969). Evaluation of natural vs. synthetic substrates for measuring the antitryptic activity of soybean samples. *Cereal chemistry*.
- Kozioł, M. J. (1992). Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of food composition and analysis*, 5(1), 35-68.
- Laguna, P. (2002). Competitividad, externalidades et internalidades: un reto para las organizaciones económicas campesinas. *Debate agrario*(34), 95.
- Lamothe, L. M., Srichuwong, S., Reuhs, B. L., & Hamaker, B. R. (2015). Quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) and amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) provide dietary fibres high in pectic substances and xyloglucans. *Food chemistry*, 167, 490-496.
- Lampi, A.-M., Nurmi, T., Ollilainen, V., Piironen, V. (2008). Tocopherols and tocotrienols in wheat genotypes in the HEALTHGRAIN diversity screen. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56 (21), 9716-9721.
- Lebonvallet, S. (2008). Implantation du quinoa et simulation de sa culture sur l'altiplano bolivien. *Agro Paris Tech, Paris & INRA, Avignon, France*, 69.
- Li, H., Deng, Z., Liu, R., Loewen, S., & Tsao, R. (2012). Ultra-performance liquid chromatographic separation of geometric isomers of carotenoids and antioxidant activities of 20 tomato cultivars and breeding lines. *Food chemistry*, 132(1), 508-517.
- Lis, H., Sharon, N. (1998). Lectins: carbohydrate-specific proteins that mediate cellular recognition. *Chemical reviews*, 98(2), 637-674.
- Martínez, E., Veas, E., Jorquera, C., San Martín, R., Jara, P. (2009). Re-introduction of quinoa into arid Chile: cultivation of two lowland races under extremely low irrigation. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 195(1), 1-10.
- Martínez, E. A., Fuentes, F. F., Bazile, D. (2015). History of quinoa: its origin, domestication, diversification, and cultivation with particular reference to the Chilean context. *Quinoa: Improvement and sustainable production*, 19-24.
- Maughan, P. J., Bonifacio, A., Coleman, C. E., Jellen, E. N., Stevens, M. R., Fairbanks, D. J. (2007). Quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Pulses, Sugar and Tuber Crops*, 147-158.
- Mujica, Á., Izquierdo, J., Marathee, J. P., & Capítulo, I. (2001). Origen y descripción de la quinua. *Quinua (Chenopodium quinoa Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*. Editores. Mujica, A., Jacobsen, SE, Izquierdo, J., Marathee, JP). FAO, UNA, Puno, CIP. Santiago de Chile, 9-29.

- Mujica Sánchez, Á., Chura Yupanqui, E., Moscoso Mujica, G., Vignale, N. D. (2021). Innovaciones tecnológicas en los cultivos andinos conseguidas en la última década. *Anales de la ANAV*, 71.
- Navarro, P., Giner, R. M., Recio, M. C., Máñez, S., Cerdá-Nicolás, M., Ríos, J.-L. (2001). *In vivo* anti-inflammatory activity of saponins from *Bupleurum rotundifolium*. *Life Sciences*, 68 (10), 1199-1206.
- Osborne, T. (1924). *The Vegetable Proteins* Longmans. *Green, London*.
- Pedersen, T. M. (2016). *Amaranthaceae*. Editions des Conservatoire et Jardin botaniques de la Ville de Genève.
- Prego, I., Maldonado, S., Otegui, M. (1998). Seed structure and localization of reserves in *Chenopodium quinoa*. *Annals of Botany*, 82 (4), 481-488.
- Quinoa, F. (2011). an ancient crop to contribute to world food security. Garcia, M., B. Condori and CD Castillo. 2015. *Agroecological and Agronomic*.
- Risi C, J., Galwey, N. (1989). *Chenopodium* grains of the Andes: A crop for temperate latitudes. *Chenopodium grains of the Andes: a crop for temperate latitudes.*, 222-234.
- Risi, J. (1984). The *Chenopodium* grains of the Andes: Inca crops for modern agriculture. *Adv. Applied Biology*, 10, 145-216.
- Rojas, F. W. (1998). Análisis de la diversidad genética del germoplasma de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de Bolivia, mediante métodos multivariados Universidad Austral de Chile].
- Romero, J. (1981). Evaluación de las características físicas, químicas y biológicas de ocho variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Universidad de San Carlo de Guatemala*.
- Ruales, J., Nair, B. (1994). Properties of starch and dietary fibre in raw and processed quinua (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*, 45, 223-246.
- Ryan, E., Galvin, K., O'Connor, T. P., Maguire, A. R., & O'Brien, N. M. (2007). Phytosterol, squalene, tocopherol content and fatty acid profile of selected seeds, grains, and legumes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62, 85-91.
- Sanchez, H. B., Lemeur, R., Damme, P. V., Jacobsen, S.-E. (2003). Ecophysiological analysis of drought and salinity stress of quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Food reviews international*, 19 (1-2), 111-119.
- Schlick, G., Bubenheim, D. L. (1996). Quinoa: candidate crop for NASA's controlled ecological life support systems.

- Schoenlechner, R., Siebenhandl, S., Berghofer, E. (2008). Pseudocereals., Gluten-free cereal products and beverages. *Academic Press*, 149-190.
- Siener, R., Hönow, R., Seidler, A., Voss, S., Hesse, A. (2006). Oxalate contents of species of the Polygonaceae, Amaranthaceae and Chenopodiaceae families. *Food chemistry*, 98(2), 220-224.
- Suh, N., Honda, T., Finlay, H. J., Barchowsky, A., Williams, C., Benoit, N. E., Xie, Q.-w., Nathan, C., Gribble, G. W., Sporn, M. B. (1998). Novel triterpenoids suppress inducible nitric oxide synthase (iNOS) and inducible cyclooxygenase (COX-2) in mouse macrophages. *Cancer research*, 58 (4), 717-723.
- Tang, Y., Li, X., Zhang, B., Chen, P. X., Liu, R., Tsao, R. (2015). Characterisation of phenolics, betanins and antioxidant activities in seeds of three *Chenopodium quinoa* Willd. genotypes. *Food chemistry*, 166, 380-388.
- Tapia, M. (1979). La quinua y la kañiwa: cultivos andinos (Vol. 40). Bib. Orton IICA/CATIE.
- Tapia, M. E. (1997). Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación.
- Tapia, M. E. (2015). the Long Journey of quinoa: Who wrote its history? *STATE OF THE ART REPORT ON QUINOA*, 3.
- Tilman, D., Cassman, K. G., Matson, P. A., Naylor, R., & Polasky, S. (2002). Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418 (6898), 671-677.
- Valencia-Chamorro, S. (2003). Quinoa. *Encyclopedia of Food Science and Nutrition*. In: Amsterdam: Academic Press.
- Woldemichael, G. M., Wink, M. (2001). Identification and biological activities of triterpenoid saponins from *Chenopodium quinoa*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 49 (5), 2327-2332.
- Wright, K., Pike, O., Fairbanks, D., Huber, C. (2002). Composition of *Atriplex hortensis*, sweet and bitter *Chenopodium quinoa* seeds. *Journal of food science*, 67 (4), 1383-1385.