



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Corso di laurea in Scienze e tecnologie alimentari

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)

Relatore

Prof. Stefano Bona

Correlatore

Dott. Silvia Santagata

Laureando

Giulio Lovato

Matricola n.

572901

ANNO ACCADEMICO 2011 - 2012

Indice

1. Introduzione.....	1
2. Descrizione botanica.....	3
2.1 Posizione tassonomica.....	3
2.2 Cultivar.....	3
2.3 Struttura della pianta.....	4
2.3.1 Radice.....	4
2.3.2 Fusto.....	4
2.3.3 Foglie.....	4
2.3.4 Infiorescenza.....	5
2.3.5 Fiori.....	5
2.3.6 Seme.....	5
2.4 Fasi fenologiche.....	6
2.5 Esigenze ambientali.....	8
3. Coltivazione tradizionale in Sud America.....	11
3.1 Coltivazione.....	11
3.2 Raccolta.....	11
3.3 Essiccazione della pianta e trebbiatura.....	11
3.4 Vagliatura e pulizia della granella.....	12
3.5 Essiccazione, selezione e stoccaggio della granella.....	12
4. Pratiche colturali moderne.....	13
4.1 Rotazione delle colture.....	13
4.2 Preparazione del terreno.....	13
4.3 Semina.....	13
4.4 Concimazione.....	14
4.5 Controllo delle infestanti.....	15
4.6 Controllo delle malattie e dei parassiti.....	15
4.7 Irrigazione.....	16
4.8 Raccolta.....	16
4.9 Essiccazione della granella.....	17
4.10 Rese produttive.....	18
4.11 Prospettive di miglioramento.....	18
5. Ruolo Nutrizionale.....	20
5.1 Proteine.....	20

5.1.1 Chimica e aspetti nutrizionali.....	20
5.1.2 Aspetti strutturali delle proteine	22
5.1.3 Qualità delle proteine	23
5.1.4 Digeribilità delle proteine	25
5.1.5 Indice di efficienza proteica	26
5.1.6 Effetto del trattamento termico sulle proteine.....	28
5.2 Carboidrati	29
5.2.1 Composizione, fisiche, chimiche e proprietà strutturali.....	29
5.2.2 Amido.....	30
5.2.3 Fibra	32
5.3 Lipidi.....	33
5.4 Minerali.....	34
5.5 Vitamine.....	37
5.6 Composti fenolici e flavonoidi	38
5.7 Fattori antinutrizionali	39
5.7.1 Inibitori della tripsina.....	39
5.7.2 Saponine	39
5.8 Valori nutrizionali della foglia	40
5.9 Proprietà nutraceutiche.....	41
6. Post-raccolta	42
6.1 Usi della quinoa.....	42
6.2 Standard di qualità.....	42
6.3 Potenziale agroalimentare.....	42
7. Lavorazione industriale della quinoa	44
7.1 Prime operazioni sul seme.....	45
7.2 Pulizia e classificazione della granella.....	45
7.3 Rimozione delle saponine	47
7.3.1 Desaponificazione tradizionale.....	47
7.3.2 Desaponificazione meccanica	47
7.3.2 Desaponificazione tramite lavaggio.....	49
7.3.3 Desaponificazione combinata.....	50
7.4 Stoccaggio	50
7.5 Imballaggio e presentazione	51
8. Farina	52

8.1 Molitura	53
9. La pasta	54
9.1 Preparazione della pasta.....	54
9.2 Pasta di quinoa.....	55
9.3 Comportamento reologico degli impasti	56
9.4 Impasti	57
9.5 Prove di resistenza	57
9.6 La valutazione sensoriale	58
10. Conclusioni.....	61
11. Bibliografia	62

Riassunto

In questa tesi descrivo la quinoa, i suoi impieghi attuali ed i possibili impieghi futuri, per l'alimentazione moderna. È un "pseudo cereale" del Sud America che viene consumato sia come prodotto tal quale, sia che per la trasformazione industriale come farina e come pasta. Questo prodotto ha la particolarità di non contenere glutine e risulta quindi adatto per l'alimentazione delle persone soggette al morbo celiaco.

La storia della quinoa è molto antica, infatti le prime addomesticazioni delle piante sono state riscontrate ai tempi delle popolazioni precolombiane (Maya e Inca). La coltivazione è stata in gran parte abbandonata con l'arrivo dei conquistadores spagnoli che hanno rimpiazzato questa pianta con cereali europei (frumento e orzo), molto più produttivi. La quinoa è attualmente coltivata in tutta la regione andina, negli Stati Uniti, in Europa, Asia e Africa.

La quinoa appartiene alla famiglia delle *Chenopodiaceae*. Esistono molte varietà diverse tra loro per zona di sviluppo, colore della pianta e dei semi, taglia e ramificazione. Ha una notevole capacità di adattamento alle diverse altitudini, caratteristiche del terreno, condizioni ambientali. A seconda delle varietà, infatti, le piante riescono a svilupparsi sia a livello del mare sia a 4000 m di altitudine, sia in terreni a pH acido che in terreni a pH basico, sia in zone tropicali a clima umido come in zone aride o semidesertiche, risultando in questi casi una pianta molto resistente alla siccità.

La coltivazione di questa pianta in sud America è ancora molto tradizionale, anche se si stanno affermando pratiche molto più moderne dovute a studi effettuati soprattutto negli Stati Uniti presso l'università del Colorado e in Europa. La coltivazione tradizionale si svolge normalmente manualmente, spesso a livello familiare o gruppi di famiglie, non vengono utilizzati macchinari se non in maniera limitata alla fase di raccolta e trebbiatura e non vengono utilizzati prodotti chimici. La produzione risulta legata all'andamento stagionale e in genere con rese molto basse, spesso sufficiente solo per le necessità della famiglia e in minima parte destinata alla vendita.

Con le pratiche più moderne si riescono ad ottenere produzioni molto più abbondanti, pur con un impiego inferiore di manodopera, destinate prevalentemente alla vendita. Queste pratiche riguardano tutta la fase produttiva, dalla preparazione del terreno fino alla raccolta. Con la lavorazione del terreno, la concimazione e il diserbo (sia chimico che meccanico) si cercano di ottenere le migliori condizioni per lo sviluppo della pianta, quindi un terreno ben strutturato ed in assenza di competizione da parte di altre piante. Per migliorare inoltre la produzione possono rendersi utile, in caso di necessità, degli interventi fitosanitari contro alcuni parassiti oppure la somministrazione di acqua tramite l'irrigazione. Viene meccanizzata anche la raccolta mediante mietitrebbie opportunamente adattate a causa delle ridotte dimensioni del seme, riducendo enormemente i tempi di lavoro. Nonostante la raccolta venga eseguita quando la pianta è completamente secca, la granella presenta generalmente ancora un'umidità superiore al 12% e quindi, per essere conservata nelle migliori condizioni, deve essere sottoposta ad un processo di essiccazione per portare questa umidità residua al valore ottimale.

Per quanto riguarda le caratteristiche nutrizionali del seme, la quinoa è un alimento molto interessante per le sue qualità nutritive. È una fonte molto importante di proteine, ne contiene dal 12 al 18% a seconda della varietà, molto superiore alla media dei cereali tradizionali. Molto più importante però è la composizione amminoacidica di queste proteine. Contiene infatti elevate quantità di lisina che è l'amminoacido limitante dei cereali, anche se la quantità presente non soddisfa pienamente gli standard FAO/OMS per la composizione amminoacidica ideale. La proteina della quinoa è comunque di alta qualità, in quanto riesce a soddisfare completamente i fabbisogni di amminoacidi per gli adulti e quasi completamente (90%) il fabbisogno per i bambini di età compresa tra i 2 e i 5 anni, nonostante la sua bassa digeribilità.

I carboidrati, composti per la quasi totalità da amido, nella quinoa costituiscono in media il 60 - 70%.

La quinoa è anche una buona fonte di fibra insolubile, che svolge un ruolo importante nella regolazione della funzionalità intestinale.

Il contenuto di grassi nel quinoa è compreso tra il 4,1 e l'8,8%. Confrontandolo con i cereali tradizionali, il contenuto lipidico della quinoa è notevolmente superiore a quello di frumento e riso integrali, e comunque superiore alla media dei cereali.

È molto ricca di numerosi nutrienti essenziali come vitamine (vitamine B ed E) e minerali in concentrazioni molto superiori ai cereali specialmente per quanto riguarda ferro, magnesio, calcio e fosforo. È inoltre una buona fonte di antiossidanti e questo rende la quinoa un buon agente per l'eliminazione dei radicali liberi.

Sono presenti però dei fattori antinutrizionali che rendono difficoltoso se non impossibile il consumo della quinoa senza una preventiva rimozione di queste sostanze. Il principale antinutritivo della quinoa è la saponina, è contenuta nel pericarpo e serve da protezione naturale del seme. Questo composto ha un gusto amaro e, se consumato in grandi quantità, è tossico.

Per poter consumare la quinoa deve essere eseguita una operazione di desaponificazione. Può essere eseguita in modi diversi: con il metodo secco o con il metodo umido, oppure combinando i due precedenti metodi. Al termine di questo processo la quinoa è pronta per poter essere confezionata e consumata tal quale oppure inviata alla trasformazione per ottenere fiocchi di quinoa per la colazione, farina e prodotti derivati (pane, pasta...), snack, tempeh ...

È stata studiata la possibilità di ottenere una pasta senza glutine e con un alto contenuto proteico utilizzando la quinoa in purezza e in miscela con altri prodotti. Prima di tutto bisogna ottenere la farina risultante dalla molitura dei semi di quinoa desaponificati. Per la produzione di pasta sono stati fatti quattro impasti, uno con la sola farina di quinoa, due miscele diverse utilizzando fecola di patate e farina di riso e nell'ultimo impasto quinoa, fecola di patate e farina di riso. I migliori risultati sia per quel che riguarda la realizzazione dell'impasto sia per le caratteristiche organolettiche sono stati ottenuti con la miscela realizzata con farina di quinoa e farina di riso. Questa miscela è stata successivamente sottoposta a delle prove reologiche, sia sottoforma di impasto sia come pasta finita, per determinare con quale percentuale di farina di quinoa e di acqua si ottengono le caratteristiche fisiche più simili alla pasta tradizionale realizzata con farina di grano duro. Il risultato migliore è stato ottenuto con la miscela delle due farine in parti uguali. Questa pasta è stata sottoposta all'analisi sensoriale ottenendo un risultato positivo per quanto riguarda gusto e aroma, e negativo per quel che riguarda colore, consistenza e aspetto.

Summary

In this thesis I describe the quinoa, its current uses and possible future uses for the modern diet. It is a "pseudo cereal" of South America that is consumed both as a product as it is, both as a product in the industrial processing such as flour and pasta. This product has the characteristic of not contain gluten and is therefore suitable for feeding of people subject to celiac disease.

The history of quinoa is very old, in fact the first cultivation of these plants were found at the time of the pre-Columbian people (Maya and Inca). The cultivation was largely abandoned with the arrival of the Spanish conquistadores who replaced this plant with European cereals (wheat and barley) that were much more productive. Quinoa is currently cultivated throughout in the Andean region, in the United States, in Europe, Asia and Africa.

Quinoa belongs to the family *Chenopodiaceae*. There are many variety that differed for their development zone, plants and seeds colors, size and branching. It has a remarkable ability to adapt to different altitudes, soil characteristics, environmental conditions. Depending on the cultivar, in fact, plants can grow both at sea level and at 4000 m altitude, soils with acid or alkaline pH , and in areas with tropical, arid or semi-desert climate. In these last two cases, the plants are very resistant to the lack of water .

The cultivation of this plant in South America is still very traditional, even though more modern practices are claiming due to studies conducted mainly in the United States at the University of Colorado and in Europe. The traditional cultivation is normally performed manually, often through family or groups of families, machinery are not used except in a limited way to the stage of harvesting and threshing and chemicals are not used. The production is linked to the seasonal and generally with very low yields, often only enough for the family's needs and minimally held for sale.

With modern practice you can achieve much more products, mainly intended for sale, with a less use of labor. These practices concern the entire production phase, from soil preparation to harvesting. Tillage, fertilization and weed control (both chemical and mechanical) will try to get the best conditions for plant growth, having a well-structured soil and the absence of competition from other plants. To improve the production may also be useful, chemicals for plants protection against some parasites, or irrigation practices. Harvesting is also mechanized through combine harvester modified because of the small size of the seed, greatly reducing working times. Despite the collection is performed when the plant is completely dry, the grain still presents generally a moisture higher than 12% and therefore, to be preserved under the best conditions, must be subjected to a drying process to bring this residual moisture to the optimal value.

With regard to the nutritional characteristics of the seed, quinoa is a very interesting food for its nutritional qualities. It is a very important source of protein (from 12 to 18% depending on the variety), much higher than the average traditional cereals. Far more important, however, is the aminoacid composition of these proteins. It contains high amounts of lysine which is the limiting aminoacid of cereals, although the amount present does not fully meet the standard FAO / WHO for the ideal aminoacid composition. The protein quinoa is still of high quality, since it can satisfy the requirements of aminoacids for adults and almost completely the need for children aged between 2 and 5 years (90%), in spite of its low digestibility.

Carbohydrates are composed almost entirely of starch in quinoa constitute an average of 60 to 70%.

Quinoa is also a good source of insoluble fiber, which plays an important role in the regulation of intestinal function.

The fat content in quinoa is between 4.1 and 8, 8%. Compared with the traditional grains, the fat content of quinoa is considerably higher than that of wheat and rice, and still higher than the average cereals.

It is very rich in many essential nutrients such as vitamins (vitamins B and E) and minerals in concentrations higher than the cereals, particularly as regards iron, magnesium, calcium and phosphorus. It is also a good source of antioxidants and this makes the quinoa a good agent for the elimination of free radicals.

There are, however, antinutritional factors that make it difficult if not impossible consumption of quinoa, without first removing these substances. The main antinutritional Quinoa is saponin, that is contained in the pericarp and serves as a natural protection of the seed. This compound has a bitter taste and, if consumed in large quantities, is toxic.

To be able to eat quinoa, first must be performed the desaponification. This can be done in different ways: with the dry method, the wet method, or by combining the two previous system. At the end of this process the quinoa is ready to be packaged and consumed as such or sent for processing to obtain quinoa flakes for breakfast, and flour products (bread, pasta ...), snacks, tempeh ...

We studied the possibility of obtaining a gluten-free pasta and with a high protein content using the quinoa in purity and in admixture with other products. First you need to get the flour resulting from grinding the seeds of quinoa desaponified. For the production of pasta were made four bodies, one with only quinoa flour, two different mixtures using potato starch and rice flour and, in the last quinoa, potato starch and rice flour are all mixed together. The best results for what concerns the realization of the dough and the organoleptic characteristics have been obtained with the mixture made with quinoa flour and rice flour. This mixture was subsequently subjected to rheological tests, both in the form of dough as in the form of finished pasta, to determine what percentage of quinoa flour and water are obtained with the physical characteristics more similar to traditional pasta made with durum wheat flour. The best result was obtained with the mixture of the two flours in equal parts. This pasta was subjected to sensory analysis to obtain a positive result for taste and aroma, and negative with regard to color, texture and appearance.

1. Introduzione

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) è una pianta erbacea della famiglia delle *Chenopodiaceae* coltivata soprattutto per i suoi semi commestibili di alta digeribilità, ma viene anche consumata come verdura a foglia. E' considerato uno pseudocereale piuttosto che un vero cereale, in quanto non è una graminacea, ma presenta gli stessi utilizzi alimentari.

La quinoa è una coltura ancestrale originaria del sud America e l'uomo ne vanta un rapporto al suo fianco di circa diecimila anni. Già i discendenti dei Quechua e Aymara raccontano che grazie al "Grano de Oro" non c'era la fame nelle Ande ma piuttosto, uomini forti legati alla coltivazione e al consumo della quinoa.

Storicamente troviamo poche prove archeologiche, linguistiche ed etnografiche, riguardanti la quinoa di quel periodo. I primi dati storicamente rilevanti che riguardano l'addomesticazione della quinoa sono datati 5.000 a.C. e li troviamo nella regione montuosa di Ayacucho (Perù). Più certi sono i dati evidenziati da ricerche archeologiche nel nord del Cile dove risulta l'uso della quinoa dal 3.000 a.C.

Come in tutte le scoperte riguardanti le civiltà antiche, sono stati importanti, sia per la datazione sia per l'ubicazione, i risultati delle ricerche svolte all'interno delle tombe dove sono stati recuperati reperti archeologici riguardanti la quinoa, perlopiù costituiti da semi e infiorescenze, nelle regioni di Tarapaca, Calama, Arica e diverse regioni del Perù.

La Quinoa in passato ha avuto presso le popolazioni pre-colombiane, Azteche e Maya nelle valli del Messico un'ampia distribuzione geografica, coprendo in Sud America la Colombia, l'Argentina e il Cile. Tali popolazioni, infatti, nella loro dieta utilizzavano le foglie delle piante selvatiche e solo in seguito i semi.

Con l'arrivo dei missionari cattolici al seguito dei conquistadores, inizia il declino dell'uso della quinoa assieme ad altre piante locali come l'amaranto e il maca. Il principale motivo di questo abbandono è determinato dalla concezione dei conquistatori, infatti, le popolazioni locali attribuivano alla quinoa un ruolo sacro. Nel periodo della semina, un sacerdote offriva a Inti, il dio Sole, i semi della pianta in un vaso d'oro e i primi semi di quinoa erano piantati con una pala dorata. I conquistadores, invece, ritenevano sacro il pane di frumento, e quindi la quinoa fu ritenuta di ostacolo alla "campagna" di conversione al cattolicesimo che condussero in quelle terre. Tale coltura venne quindi rapidamente sostituita da cereali di importazione europea (grano, orzo...), che risultavano inoltre avere rese molto superiori.

Nel 1944 ci fu il tentativo, in teoria ben intenzionato ma incauto, di riforma agraria nota come la Rivoluzione Verde. Gli agricoltori dei paesi in via di sviluppo di tutto il mondo sono stati invitati ad abbandonare le colture tradizionali per coltivare varietà ad alto rendimento produttivo.

Negli ultimi dieci anni è diventato chiaro che c'era un prezzo considerevole da pagare per la perdita della diversità, sia a livello culturale sia agricolo e questo ha fatto in modo che ci fosse la riscoperta di questa coltivazione che, grazie agli agricoltori andini che ne hanno conservato i semi e ne hanno continuato la coltivazione in piccoli appezzamenti. Così è stato fino a quasi la fine del XX secolo, quando, riscoperto il valore del "Grano de Oro", è stato promosso il suo studio, il miglioramento di alcune varietà e l'espansione delle colture e del consumo, che oggi vede un crescente interesse del mondo scientifico.

Iniziata, quindi da una coltura pre-inca, ora la coltivazione si estende da Pasto, in Colombia al fiume Maule e Catamarca in Argentina. In Perù la sua coltivazione è ora distribuita da Piura (Huancabamba) a Tacna (Torata). In Bolivia, è distribuita negli altopiani, nelle valli e vicino ai laghi salati esistenti nel sud, con caratteristiche peculiari di coltivazione, uso e trasformazione. In Cile è coltivata soprattutto nella zona adiacente agli altopiani boliviani, aree di Tarapaca, Antofagasta, Calama, San Pedro de Atacama e nel sud a Concepción e Valdivia.

In Argentina la coltivazione avveniva a Catamarca, ma poi per ragioni di maggiore competitività dei cereali si è ritirata a Cordoba e San Juan de Jujuy.

La coltivazione della quinoa dalla regione andina, si è diffusa ad altri paesi del Sud America attraverso programmi di ricerca e trasferimento tecnologico tra cooperative e FAO e da lì si è diffusa in America Centrale, principalmente Messico e Guatemala, inizialmente per scopi di ricerca e poi, visto l'adattamento della pianta, per la produzione. In seguito è stata portata negli Stati Uniti e in Canada, principalmente con le cultivar del sud della Bolivia e del Cile.

La quinoa è ora conosciuta e coltivata in Europa, Asia e Africa, inizialmente per i programmi di ricerca delle università Sudamericane per la diversificazione delle colture, i cui risultati sono stati accolti da ricercatori europei e dalle imprese interessate alla distribuzione di prodotti naturali e vegetariani. La quinoa per il suo alto contenuto di proteine, il giusto equilibrio di amminoacidi essenziali, ad alto contenuto di lisina, minerali e vitamine, per la facilità di produzione senza l'uso di fertilizzanti e pesticidi chimici, così come la grande adattabilità alle diverse condizioni di crescita, è un prodotto di facile scelta per le esigenze dei consumatori di prodotti naturali, sani e nutrienti.

E' ormai diffusa in Inghilterra, Germania, Danimarca, Spagna, Italia, Francia, Russia, Portogallo, l'Himalaya, Sud Est Asiatico, e la Namibia.

2. Descrizione botanica

2.1 Posizione tassonomica

La quinoa è una pianta della famiglia delle *Chenopodiaceae*, genere *Chenopodium*. Il genere *Chenopodium* è il più grande all'interno della famiglia delle *Chenopodiaceae* ed è distribuito in tutto il mondo, con circa 250 specie (Mujica S. et al., 2001).

All'interno del genere *Chenopodium* alcune specie sono coltivate come piante alimentari per la produzione di granella come ad esempio *Chenopodium quinoa* Willd. e *Chenopodium Aellen pallidicaule* in Sud America e *Chenopodium nuttalliae ambrosioides* in Messico.

Questo genere comprende anche specie selvatiche di *Chenopodium* distribuite a livello mondiale tra cui *C. album*, *C. hircinum*, *C. murale*, *C. graveolens*, *C. petiolare*.

<u>Dominio:</u>	<i>Eukaryota</i>
Regno:	<i>Plantae</i>
Divisione:	<i>Magnoliophyta</i>
Classe:	Dicotiledoni
Sotto Classe:	Angiosperme
Ordine:	<i>Caryophyllales</i>
Famiglia:	<i>Chenopodiaceae</i>
Genere:	<i>Chenopodium</i>
Specie:	<i>Chenopodium quinoa</i> Willdenow.

2.2 Cultivar

Esistono più di 200 varietà di quinoa. La varietà più utilizzata è la quinoa Real per il suo basso tenore di saponina. Altre varietà commercializzate sono: Bear, Cherry Vanilla, Cochabamba, Dave 407, Gossi, Isluga, Kaslala, Kcoito, Linares, Rainbow, Red head (che presenta una buona adattabilità ai climi piovosi), Temuco (Mujica et al., 2001). Molte cultivar di quinoa contengono saponine che agiscono come antinutrienti, spesso associate con i lipidi. Ci sono numerose varietà della pianta (Perù e Bolivia hanno oltre 2000 ecotipi), generalmente sono classificate in base alla diversa posizione geografica in cui si sviluppano. Sono classificate in cinque categorie principali (Erdos, 1999). La "Valley" (quinoa della valle), che si sviluppa normalmente tra i 2000 e i 4000 m s.l.m. nelle valli interne delle Ande. Presenta grandi piante ramificate caratterizzate da un lungo periodo di crescita. Il tipo "Altiplanic", tipico delle zone montuose che circondano il lago Titicaca, queste piante si sviluppano sopra i 4000 m s.l.m., sono particolarmente resistenti al gelo con un ciclo di sviluppo breve, hanno uno stelo abbastanza corto, privo di ramificazioni laterali. Troviamo poi il tipo "Salar" (saline) che cresce intorno ai 4000 m della regione di Atacama (Bolivia). Questo tipo si è adattato alla crescita in terreni con un'elevata presenza salina e con pH alcalino. I semi di queste varietà sono amari con un'elevata percentuale di proteine. Un'altra categoria è la "Sea level" (livello del mare) che riguarda tutte quelle varietà che si sono adattate a vivere a quote più basse nelle regioni del Cile meridionale. Le piante presentano ramificazioni laterali, mentre i semi sono di colore giallo e amari. L'ultima categoria è la "quinoa subtropicale" che cresce nelle valli interne della Bolivia. Queste piante presentano un colore verde intenso che vira all'arancione durante la maturazione. I semi sono piccoli, il colore in genere è bianco ma ci sono varietà di colore arancione. La quinoa è una specie vegetale che non è stata migliorata mediante selezione delle piante, mostrando così significative variabilità. I colori primari di quinoa sono verde, viola e rosso che virano in diverse tonalità durante la maturazione. L'unica varietà selezionata disponibile è stata sviluppata dalla stazione sperimentale agricola presso l'università del Colorado (Johnson and Ward., 1993). Si tratta di una varietà a seme giallo chiamata "CO407".

Questa varietà è stata ottenuta da piante provenienti dal Cile ed è stata ottenuta nel 1987. La “CO407” è una pianta di piccola altezza, maturazione precoce (100 giorni dopo la semina), e una buona resistenza della granella alla rottura durante la raccolta. Questa varietà ha un ricco sapore di nocciola e contiene il 16,5-18% di proteine, superiore ad altri tipi che sono nella media del 12,5-14%. Le saponine del pericarpo di rivestimento sono efficacemente rimosse per abrasione.

2.3 Struttura della pianta

La quinoa è una pianta erbacea annuale di ampia dispersione geografica con caratteristiche peculiari nella morfologia, colorazione e comportamento in riferimento alle diverse zone agro-ecologiche dove viene coltivata. E' classificata come una pianta C3.

2.3.1 Radice

La pianta è a radice fittonante, molto profonda, con un sistema altamente ramificato, che le dà una buona stabilità e le permette un'ottima resistenza alla siccità. Le radici secondarie sono molto numerose e facilmente distinguibili dalle radici principali (Mujica et al., 2001). Il colore varia a seconda del tipo di terreno in cui cresce. Durante la germinazione la prima cosa che si sviluppa è la radichetta, che continua a crescere sia lateralmente sia in profondità raggiungendo anche i 180 cm. La profondità della radice è strettamente legata all'altezza della pianta. La profondità delle radici e la distribuzione delle radici laterali, variano con il genotipo e permettono un forte ancoramento a terra e una buona resistenza della pianta alla carenza di acqua.

2.3.2 Fusto

La pianta presenta un fusto legnoso eretto, che può essere ramificato o non ramificato, di altezze variabili dai 30 cm fino ai 3 m, a seconda della varietà di quinoa (Mujica et al., 2001).

Il diametro dello stelo varia a seconda del genotipo, alle distanze di semina, alla concimazione, alle condizioni di coltivazione e varia da 1 a 8 cm. La configurazione delle ramificazioni della pianta può essere modificata dall'attacco di insetti, danni meccanici o da alcune pratiche culturali. Al variare dei genotipi, della densità di semina, della disponibilità di nutrienti e delle aree di crescita ci possono essere piante ampiamente ramificate (“Sea level” quinoa), altre senza alcuna ramificazione (altopiano) oltre a varietà intermedie (Erdos, 1999).

Il colore del fusto è diverso a seconda dei genotipi e delle fasi fenologiche. Può variare dal verde al rosso, mostra spesso striature, con le ascelle delle foglie o dei rami pigmentate di rosso o viola.

Lo stelo ha una epidermide cutinizzata, con membrane di cellulosa compatte, contiene al suo interno un midollo che scompare alla maturazione, lasciando il gambo secco e vuoto. Questo fusto per ricchezza e alto contenuto di pectina e cellulosa può essere utilizzato nella fabbricazione di carta e cartone.

2.3.3 Foglie

Le foglie sono alternate e sono formate da picciolo e lamina (Cornejo, 1976). I piccioli sono lunghi, sottili e scanalati. La lunghezza dei piccioli è variabile a seconda della varietà ma, può variare, anche all'interno della stessa pianta. La lamina fogliare è polimorfica anche nella stessa pianta, e può essere a forma di diamante, triangolare o lanceolata, piatta o ondulata (Bonifacio, 2006). All'interno delle foglie sono contenuti cristalli di ossalato di calcio che riducono la traspirazione eccessiva permettendo di mantenere all'interno della pianta l'umidità adeguata.

La dimensione delle foglie è variabile a seconda della posizione e delle forme. Alla base si possono avere foglie di grandi dimensioni, romboidali o triangolari, mentre nelle parti superiori le foglie possono essere piccole e lanceolate (Mujica et al., 2001).

Il colore delle foglie è molto variabile: dal verde al rosso con sfumature diverse, hanno delle venature molto pronunciate e facilmente visibili, derivanti dal fusto e sono generalmente in

numero di tre. Ci sono genotipi con più foglie e altri con meno, in genere la quinoa tipo “Valley” presenta fogliame abbondante, permettendo l’uso della pianta come foraggio.

In molte zone della regione andina le foglie giovani prima della fioritura, per il loro elevato valore nutrizionale contenendo vitamine minerali e proteine, sono idonee al consumo umano.

2.3.4 Infiorescenza

È una tipica pannocchia, costituita da un asse centrale, uno secondario e uno terziario con i pedicelli che tengono i glomeruli. La pannocchia può presentare infiorescenze spargole (amarantiforme) oppure infiorescenze compatte (glomerulare) (Figura 2.1), esistono anche forme che presentano caratteristiche di transizione tra i due gruppi (Mujica et al., 2001). È definita glomerulare quando le infiorescenze sono a gruppi compatti e con pedicelli ravvicinati, è amarantiforme quando i glomeruli sono allungati e l'asse centrale ha numerosi rami secondari e terziari con fiori raggruppati in ciuffi abbastanza sciolti. Sono stati così chiamati per la somiglianza che ha con l'infiorescenza del genere *Amaranthus*.

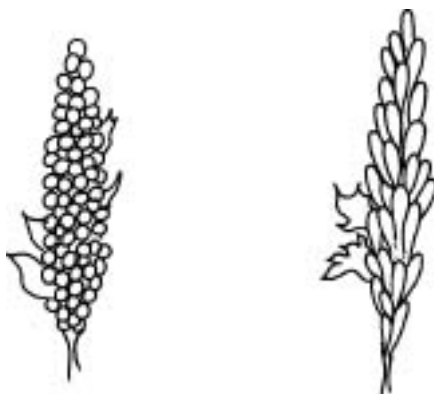


Figura 2.1 Forma dell’infiorescenza glomerulata e amarantiforme (Mujica et al., 2001).

La lunghezza della pannocchia è variabile, a seconda del genotipo, il tipo di quinoa e delle condizioni di fertilità del suolo, raggiungendo dai 30 agli 80 cm di lunghezza e dai 5 ai 30 cm di diametro. Il numero di glomeruli per pannocchia varia da 80-120 e il numero di semi per pannocchia possono andare da 100 a 3000, con pannocchie di grandi dimensioni si possono avere delle rese fino a 500 grammi di seme per infiorescenza.

2.3.5 Fiori

Sono piccoli, raggiungono una dimensione massima di 3 mm, incompleti perché privi di petali, sono costituiti da una corolla composta da tepali e solitamente da cinque sepali di colore verde (Mujica et al., 2001). Possono essere ermafroditi, se il fiore presenta sia l’organo riproduttivo maschile sia femminile sulla stessa pianta, oppure possono esserci piante dioiche, cioè presentare l’organo riproduttivo maschile e femminile su due piante diverse. Sono autofertili e l’impollinazione in genere è anemofila (tramite il vento) (Bonifacio, 2006).

2.3.6 Seme

Il frutto è un achenio indeiscente molto piccolo, rotondeggiante, appiattito, con un diametro di circa 2 mm, protetto dal perigonio, che è dello stesso colore della pianta. Il seme è anch’esso appiattito, è ottenuto dai frutti maturi senza perigonio, può avere una forma ellissoidale, conica o sferoidale e può essere di colore bianco, beige, giallo chiaro, marrone chiaro, rosso o nero. Nel seme sono ben definite tre parti: episperma, embrione e perisperma (James, 2009).

L’episperma è costituito dal pericarpo (PE), da un involucro protettivo (SC) e dall’endosperma (EN) (Figura 2.2).

Il pericarpo (PE) presenta una superficie esterna ruvida e fragile che viene rimossa facilmente se strofinata. In questa parte è contenuta la saponina che conferisce un gusto amaro al seme.

L'embrione è formato da due cotiledoni (C) e dalla radichetta (R) e costituisce il 30% del volume totale del seme, circondando il perisperma (P) come un anello, con una curvatura di 320 gradi. È giallastro misura 3,54 millimetri in lunghezza e 0,36 millimetri di larghezza. A volte raggiunge una lunghezza di 8,2 mm e occupa il 34% del seme e non di rado ci possono essere anche tre cotiledoni.

Rispetto ad altri semi l'embrione ha una maggiore quantità di proteine e raggiunge il 35-40% delle proteine totali del seme, mentre il perisperma presenta solamente il 6,3-8,3% delle proteine totali (Prego et al., 1998).

Il perisperma è il tessuto di stoccaggio principale ed è costituito principalmente da granuli di amido, si presenta di colore biancastro e rappresenta quasi il 60% della superficie del seme. L'endosperma, anche nella quinoa, è composto da diversi strati intorno all'embrione e completamente separato probabilmente da uno strato di aria. Dopo l'idratazione del seme, le cellule dell'endosperma entrano in contatto con l'embrione e sono rapidamente consumate durante la sua crescita.

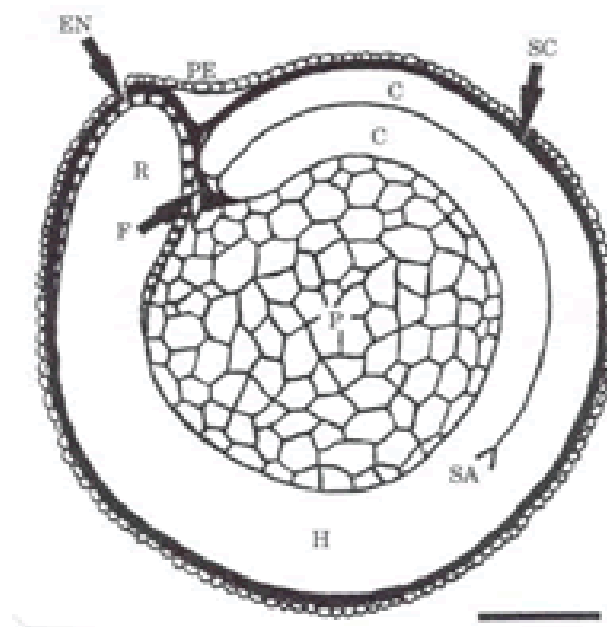


Figura 2.2 Sezione longitudinale di un seme di quinoa (*Chenopodium quinoa*) PE: pericarpo, SC: involucro protettivo, EN: Endosperma; C: cotiledoni, H: ipocotile; SA: meristema apicale; R: radichetta, P: perisperma; F: funicolo. (Prego et al., 1998).

2.4 Fasi fenologiche

Le fasi fenologiche sono i cambiamenti del processo di sviluppo della pianta visibili esternamente, e sono il risultato delle condizioni ambientali (Mujica et al., 2001). Sono un fattore molto importante per le aziende agricole e gli agricoltori, perché indispensabili per la programmazione delle pratiche colturali, irrigazione, controllo delle malattie e parassiti e l'individuazione dei momenti critici. Le fasi fenologiche della quinoa si presentano ben definite e differenziate permettendo di identificare i cambiamenti che accadono durante lo sviluppo delle piante e sono le seguenti (Figura 2.3):

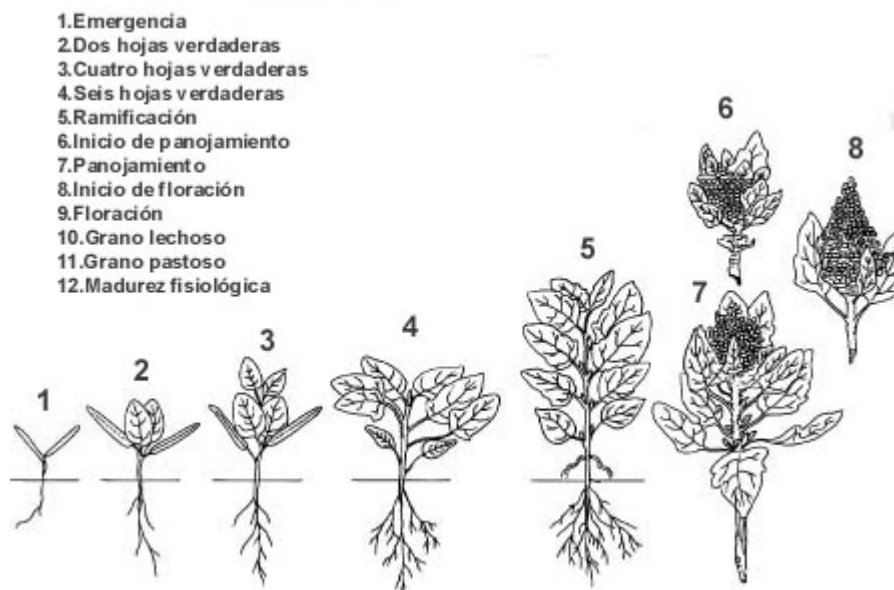


Figura 2.3 Fasi fenologiche della quinoa (Mujica et al., 2001)

1) Emergenza. Quando la piantina emerge dal terreno ed estende i cotiledoni. Questo accade da 7 a 10 giorni dopo la semina.

2) Due foglie vere. Questa è la fase in cui le piante presentano due foglie vere. Avviene da 15 a 20 giorni dopo la semina e mostra una rapida crescita delle radici.

3) Quattro foglie vere. Ci sono due coppie di foglie vere e sono ancora presenti i cotiledoni. Si verifica da 25 a 30 giorni dopo la semina. La piantina in questa fase mostra una buona resistenza al freddo e alla siccità ma è molto sensibile agli attacchi di insetti come la diabrotica.

4) Sei foglie vere. A questo punto ci sono tre paia di foglie vere espanse, mentre i cotiledoni diventano giallastri. Questa fase si verifica da 35 a 45 giorni dopo la semina.

5) Ramificazione. Sono presenti otto foglie vere, mentre i cotiledoni cadono e lasciano delle cicatrici sul gambo. Si inizia a notare la presenza di infiorescenze protette dalle foglie senza l'esposizione della pannocchia. Si verifica da 45 a 50 giorni dopo la semina. In questa fase la pianta è più sensibile alle basse temperature e al gelo.

6) Inizio formazione della pannocchia: in questa fase si può vedere che sta emergendo dall'apice della pianta l'infiorescenza. Si verifica da 55 a 60 giorni dopo la semina. Si può avere l'ingiallimento della prima coppia di foglie vere (foglie che non sono più fotosinteticamente attive) ed un forte allungamento e ispessimento del gambo.

7) Formazione completa della pannocchia: L'infiorescenza si trova ben al di sopra delle foglie, sono presenti i glomeruli che la costituiscono. Si verifica da 65 a 70 giorni dopo la semina.

8) Inizio della fioritura: E' quando il fiore si apre, si verifica da 75 a 80 giorni dopo la semina in questa fase è molto sensibile alla carenza di acqua e alle basse temperature.

9) Fioritura: La fioritura inizia quando il 50% dei fiori dell'infiorescenza sono aperti. Si verifica da 90 a 100 giorni dopo la semina. In questa fase la pianta è molto sensibile al gelo e può resistere

soltanto a -2°C. I fiori sono aperti durante il giorno e chiusi durante la notte. La pianta inizia a perdere le foglie inferiori che sono meno attive fotosinteticamente. È stato osservato che in questa fase, quando le temperature sono superiori a 38 °C, potrebbero esserci aborti fiorali, soprattutto in serra o zone desertiche calde.

10) Maturazione lattea: I semi che si trovano nei glomeruli della pannocchia quando vengono schiacciati emettono un liquido lattiginoso. Si verifica da 100 a 130 giorni dopo la piantagione. In questa fase il deficit idrico è estremamente dannoso per le rese finali, diminuendole drasticamente.

11) Maturazione cerosa: Il seme è tenero e quando viene schiacciato si libera una pasta bianca. Si verifica da 130 a 160 giorni dopo la semina.

12) Maturazione fisiologica: Il seme in questa fase è resistente alla penetrazione e si ha da 160 a 180 giorni dopo la semina. La granella presenta un contenuto di umidità del 14-16%. In questa fase vi è il completo ingiallimento della pianta e la perdita di tutte le foglie.

2.5 Esigenze ambientali

Sebbene l'ambiente di maggiore diffusione di questa specie sia quello dell'altopiano andino, a causa dell'ampia variabilità genetica (presenza di sottospecie ed ecotipi), la quinoa può essere coltivata anche in altri ambienti agro-climatici (Oelke et al., 1992). Le varie cultivar hanno un'enorme capacità di adattamento alle diverse condizioni ambientali, infatti, cresce dal livello del mare fino ai 4.000 metri s.l.m.; la troviamo inoltre sia in zone a clima arido che umido, in zone tropicali e in zone fredde oltre a quelle temperate, sopporta bene anche le basse temperature raggiungendo senza subire danni anche ad alcuni gradi sotto lo zero ed è molto tollerante, rispetto alle altre piante coltivate, agli avversi fattori abiotici come siccità, gelo e la salinità del suolo. I requisiti più importanti sono clima, fotoperiodo, temperatura, terreno, pH del terreno e acqua.

Clima

Per quanto riguarda il clima, la quinoa si è adattata a climi diversi; dal deserto caldo e secco alla costa, dal freddo secco degli altipiani al clima temperato e piovoso delle valli andine, per cui è necessario scegliere i genotipi adatti per ciascuna delle condizioni atmosferiche (Mujica et al., 2001).

Fotoperiodo

La quinoa, per la sua ampia variabilità genetica e l'alta capacità di adattamento, presenta le seguenti varietà: brevidiurne, longidiurne e fotoindifferenti.

Le piante brevidiurne necessitano per l'induzione a fiore un periodo di illuminazione che non supera le 12 ore giornaliere. È durante i periodi di buio che nella pianta si sviluppano i processi biochimici e anatomici alla base della fioritura. Più breve è il periodo di illuminazione e più la fioritura sarà anticipata.

Le piante longidiurne fioriscono quando il periodo di illuminazione supera le 14 ore giornaliere.

Le piante fotoindifferenti invece non sono influenzate dalla luce.

Le prime sono adatte per la coltivazione nelle aree tropicali e subtropicali; le seconde, invece, sono idonee alla coltivazione nelle aree a clima temperato o continentale.

Adattandosi facilmente a queste condizioni di luce, la quinoa si sviluppa molto bene con solo 12 ore al giorno di luce, nel sud del mondo soprattutto sulle Ande in Sud America, mentre nell'emisfero nord e aree meridionali, giorni con 14 ore di luce permettono un corretto sviluppo della pianta, come avviene nel nord dell'Europa. Alla latitudine di 15 gradi sud, attorno alla quale

troviamo le aree più produttive di quinoa, le ore medie di luce si aggirano intorno a 12-19 ore al giorno, con un accumulo di 146,3 ore per anno (Mujica et al., 2001).

Temperatura

La temperatura media adatta per la quinoa è di circa 15-20 °C, tuttavia è stato osservato che anche con temperature medie di 10 °C si sviluppa perfettamente. Lo stesso si ha con temperature medio-alte cioè fino a 25 °C (Mujica et al., 2001). È stato dimostrato che, in determinate fasi fenologiche, questa pianta presenta dei meccanismi per resistere a temperature che raggiungono anche i -8 °C. La pianta presenta una migliore resistenza durante la fase di ramificazione e una maggiore sensibilità durante la fioritura (Casini, 2002). Per quanto riguarda il caldo estremo, si è riscontrato che temperature superiori ai 38°C provocano l'aborto fiorale e la morte degli stami, precludendo la formazione del polline e impedendo così la formazione del seme.

Terreno

Per quanto riguarda il terreno, la quinoa preferisce terreni limosi, ben drenati e ricchi di materia organica, con pendenze moderate e un contenuto medio di nutrienti (Mujica et al., 2001). La pianta è esigente in azoto e calcio, moderatamente esigente di fosforo e potassio. Può anche adattarsi a terreni argillosi o sabbiosi, a condizione che vi siano le sostanze nutrienti e non vi siano problemi di ristagno d'acqua, poiché è molto sensibile all'umidità eccessiva soprattutto nelle fasi iniziali di vegetazione.

La quinoa ha la possibilità di crescere sia in suoli normalmente idonei alla maggior parte delle colture ovvero con un basso tenore di sale, sia in suoli con elevate concentrazioni saline, arrivando ad accumulare grandi quantità di ioni dentro e fuori i suoi tessuti. Per questo è definita un' alofita facoltativa (Accorsi, 2010). Le alofite sono vegetali dotati di adattamenti morfologici o fisiologici che ne permettono l'insediamento su terreni salini o alcalini.

Concentrazioni di cloruro di sodio nel suolo superiori all'1% sono tossiche per la maggior parte delle piante. Le piante alofite, al contrario, per crescere ottimamente richiedono una concentrazione dell'1-2%. Le proprietà generali di queste piante consistono nell'elevata resistenza alla siccità, nella capacità di assorbire l'acqua a potenziali molto bassi, di accumulare sali nei tessuti o di eliminarli con uno specifico apparato ghiandolare, di ridurre l'intensità della traspirazione e di resistere a cospicui assorbimenti di sodio. Il loro habitat è rappresentato da suoli che per fenomeni di risalita capillare o per inondazioni periodiche o permanenti accumulano cloruro di sodio e altri sali neutri oppure sali basici del sodio. Si rinvengono perciò nei deserti, in particolare nei deserti salati e nelle zone umide costiere (stagni e paludi salate e lagune).

La quinoa è una pianta resistente che non richiede particolari adattamenti per la sua crescita. La sua alta biodiversità, risultante dall'essersi sviluppata in un continente tanto eterogeneo, la rende una specie naturalmente adattata alle condizioni estreme dell'altopiano andino ma al contempo alle condizioni di aridità e salinità degli ambienti costieri.

pH

La quinoa ha una vasta gamma di crescita e di produzione in suoli con pH diversi. È stato dimostrato che si possono avere buone rese nei terreni alcalini delle saline della Bolivia e del Perù, con pH fino a 9, così come alle condizioni acide del suolo dell'area Michiquillay in Cajamarca, nel Perù con pH pari a 4,5 (Mujica et al., 2001).

Gli studi effettuati a questo proposito indicano che il pH del terreno intorno alla neutralità sono ideali per la quinoa, ma vale la pena rilevare che ci sono varietà appropriate per ciascuna delle condizioni estreme di salinità o di alcalinità, quindi è possibile utilizzare il genotipo più appropriato per ogni condizione di pH.

Acqua

Per quanto riguarda la necessità idrica, la quinoa è molto efficiente e, pur essendo una pianta C3, possiede meccanismi, morfologici, anatomici, fenologici e biochimici tali che le permettono di sfuggire alle carenze idriche dandole la possibilità di crescere e dare rese accettabili con soli 200-250 mm di pioggia l'anno, come avviene sull'altopiano boliviano meridionale (Mujica et al., 2001).

In generale, la quinoa, prospera con 250-500 mm annui medi che in mancanza di piogge devono essere forniti tramite pratiche di irrigazione.

Per quanto riguarda l'umidità relativa, la quinoa cresce senza grossi problemi dal 40% di umidità degli altipiani fino al 100% di umidità relativa della costa. Il problema che può causare una elevata umidità relativa è la possibilità di un forte sviluppo di malattie fungine

3. Coltivazione tradizionale in Sud America

3.1 Coltivazione

La coltivazione tradizionale della quinoa nel Sud America e in particolare nella zona andina (Kimble-Evans, 2003) inizia con l'arrivo della stagione delle piogge tra i mesi di ottobre e novembre. Nella coltivazione tradizionale non sono usati fertilizzanti chimici, erbicidi e pesticidi. L'unico modo per aumentare le rese è l'utilizzo di un compost naturale preparato con gli scarti della comunità. Viene inoltre fatta una rotazione di coltivazione con il lupino andino, chiamato dagli indigeni "chocho", appartenente alla stessa famiglia di quello europeo, che viene coltivato, oltre che per fornire fagioli destinati alla vendita o al consumo locale anche perché è un legume che garantisce la fissazione nel terreno dell'azoto sottratto dalla quinoa.

Per gestire le operazioni colturali, necessarie per una buona gestione della pianta, le comunità andine formano dei gruppi di lavoro chiamati "Mingas". Questi gruppi hanno lo scopo principale di eliminare le erbe infestanti e alla fine del ciclo di sviluppo eseguire la raccolta.

3.2 Raccolta

La raccolta è effettuata quando le piante hanno raggiunto la maturità. Questo lavoro deve essere fatto il mattino presto approfittando dell'umidità della notte, per ridurre al minimo le perdite dei semi che si avrebbero con le piante completamente asciutte (Mujica et al., 2001). È necessario tuttavia determinare con precisione il livello di maturità della pannocchia. La pianta non dovrebbe essere troppo secca ma non deve essere neanche troppo umida altrimenti non si riesce a staccare il seme dalla pannocchia.

La raccolta è un lavoro di grande importanza nel processo di produzione e, sia quando è fatto manualmente sia utilizzando trebbiatrici fisse, si compone di cinque fasi:

- Taglio
- Trebbiatura
- Vagliatura della granella
- Essiccazione e cernita
- Imballaggio e immagazzinamento

3.3 Essiccazione della pianta e trebbiatura

Le piante sono raccolte a maturazione fisiologica quindi i semi mostrano ancora la presenza di acqua che deve essere estratta. Le piante, quindi vengono messe a seccare formando piccoli covoni (*pasankalla*). A questo punto sono lasciate seccare da 7 a 15 giorni, comunque fino a che non raggiungono l'adeguata umidità per la trebbiatura (Mujica et al., 2001). Quando si utilizzano le trebbiatrici fisse, è auspicabile che le pannocchie siano completamente asciutte. Si inizia rimuovendo le piante secche dai covoni disponendole su coperte adeguatamente preparate per questo scopo. Si procede poi alla battitura manuale colpendo tra loro due pannocchie in modo da farne rilasciare i semi. Nel caso dell'utilizzo delle trebbiatrici, la pianta essiccata viene rimossa dalla pila e solamente la pannocchia è collocata nel meccanismo di ingresso della trebbiatrice.

3.4 Vagliatura e pulizia della granella

Una volta effettuata la trebbiatura, la granella di quinoa è contaminata da residui della pianta (pezzi di foglie, pedicelli, infiorescenze e piccoli rami). La granella è posta su appositi setacci e viene lanciata in aria, quindi, sfruttando le correnti d'aria vengono rimosse queste impurità ottenendo una buona pulizia (Mujica et al., 2001).

In alcuni casi sono usati anche soffiatori manuali o meccanici alimentati da un motore, il risultato è ugualmente efficace essendo un metodo relativamente facile da utilizzare. Anche quando si utilizzano trebbiatrici fisse, può esserci la necessità di far passare dell'aria attraverso la vagliatura per ottenere un prodotto più pulito.

3.5 Essiccazione, selezione e stoccaggio della granella

Anche quando la trebbiatura delle pannocchie viene fatta con piante secche, in realtà la granella mantiene un'umidità del 12-15% ed è quindi necessario che avvenga una successiva essiccazione per togliere l'umidità residua, solamente dopo si può passare alla fase di stoccaggio (Mujica et al., 2001). Ciò si ottiene esponendo la granella trebbiata per tutta la giornata alla luce del sole rimescolandola più volte al giorno. Questo evita rischi di fermentazione o ingiallimento del seme in magazzino.

Anche in caso di produzioni massive è necessaria l'essiccazione usando flussi di aria calda, così in poche ore la granella viene portata all'umidità ideale per il confezionamento e lo stoccaggio. Si ritiene che la quinoa sia secca quando i semi non contengono più del 10-12% di umidità.

Una volta che la granella è completamente asciutta, dal momento che dalla pannocchia si ottengono semi di grandi, medie e piccole dimensioni e potrebbero esserci semi immaturi, si procede alla selezione e alla classificazione.

La selezione per dimensione viene eseguita variando il diametro delle maglie dei setacci, attraverso cui devono passare i semi. Ogni varietà ha una diversa composizione e dimensione dei semi.

Questa classificazione permetterà un migliore utilizzo dei cereali, i semi di grandi dimensioni sono preferibilmente utilizzati come semi perlati, mentre quelli più piccoli sono utilizzati per la produzione di farina, fiocchi e altre trasformazioni.

Una volta conclusa la classificazione dei semi per i diversi usi, questi devono essere conservati in luoghi freschi e asciutti in contenitori adeguati, preferibilmente silos di metallo che impediscono la presenza di roditori e falene.

4. Pratiche colturali moderne

4.1 Rotazione delle colture

Come in tutte le colture, anche per la quinoa è importante la sua rotazione. In questa logica la rotazione della quinoa dovrebbe seguire a piante che non sono della stessa famiglia e preferibilmente dovrebbe essere seminata dopo patate o altre colture da tubero per usufruire al meglio delle sostanze nutritive presenti nel terreno, dei residui colturali e anche per una minore incidenza di malattie e parassiti.

La rotazione consigliata negli altipiani andini è patata, fagioli, quinoa, orzo (o avena) erba da foraggio; in altre condizioni, in ambienti in cui difficilmente riescono a crescere altre colture, se possibile, è da evitare la monosuccessione, che provocherebbe l'impoverimento del suolo e una maggiore incidenza di parassiti e malattie (Mujica et al., 2001). Per le rotazioni in zone più fertili è consigliato nell'ordine: patata, quinoa, mais da granella, erba medica.

4.2 Preparazione del terreno

La preparazione del terreno per la quinoa è un lavoro importante, per determinarne il futuro successo nel raccolto, quindi, dovrebbe essere compiuto nella giusta stagione, a seconda del tipo di terreno a disposizione e con le pratiche ideali, viste le ridotte dimensioni del seme (Rojas et al., 2004).

Prima di iniziare la preparazione del terreno è necessario individuare e selezionare quello con una pendenza adeguata, di buona tessitura sabbiosa, con un buon livello di fertilità, in una zona non alluvionale e non troppo salino.

Se la semina è prevista in un nuovo terreno, è necessario rivoltarlo in modo da interrare tutti i residui delle colture precedenti. Quindi, a seconda della struttura del terreno stesso, si deve procedere al suo sminuzzamento, in modo da renderlo nella condizione ottimale per ricevere il seme.

La qualità del suolo al termine della preparazione del terreno determina in larga misura il successo del raccolto, pertanto questo lavoro deve essere fatto con la massima cura possibile.

4.3 Semina

La semina dovrebbe essere eseguita quando le condizioni ambientali sono le più favorevoli. Questo è determinato da un'opportuna temperatura del terreno che deve avere un minimo di 7°-10°C fino a un massimo di 18-20°C e una buona umidità per facilitare la germinazione dei semi (Mujica et al., 2001). La germinazione in queste condizioni avviene entro 24 ore dopo la semina, mentre l'emergenza delle piantine si ha dopo circa una settimana. I semi di quinoa, come quelli degli spinaci, non possono germinare se la temperatura del terreno è troppo elevata e per ovviare a questo inconveniente può essere necessario porli in frigorifero (vernalizzazione).

Il momento più opportuno della semina dipende dalle condizioni ambientali dove si trova l'appezzamento, di solito nella regione andina, negli altipiani e sulla costa, la data ottimale va dal 15 settembre al 15 novembre (tra aprile e giugno per l'emisfero nord), che può essere anticipata o ritardata a seconda della disponibilità di acqua e in base alla precocità o alla durata della stagione di crescita delle varietà (Rojas et al., 2004). Se la pianta deve crescere nelle zone più fredde, è consuetudine anticipare la data di semina, specialmente se sono utilizzate varietà tardive.

A causa delle sue ridotte dimensioni il seme deve essere posto a bassa profondità, intorno a 1-2 cm. Il seme è suscettibile sia ai ristagni idrici sia alla disidratazione quindi la semina non deve avvenire troppo superficialmente o a una profondità maggiore di quella consigliata. La semina può essere fatta a file continue distanti da 50 a 70 cm, mentre la distanza sulla fila va da un minimo di

7 fino ad un massimo di 10-15 cm, ottenendo un sesto di impianto di circa 200.000-300.000 piante per ettaro (Johnson e Ward, 1993). Per ottenere questa densità di semina servono 10-22 kg/ha di seme circa, che devono essere raddoppiati in caso di condizioni non ottimali. Da alcune prove in campo in Gran Bretagna è emerso che densità di semina più elevate hanno permesso una maggiore precocità di maturazione e una resa produttiva maggiore con assenza di ramificazioni laterali che facilita la raccolta meccanizzata. La semina viene eseguita sia manualmente sia meccanicamente.

4.4 Concimazione

La quinoa è una pianta che ha bisogno di nutrienti; principalmente azoto, calcio, fosforo e potassio. Le quantità da apportare dipendono dalla ricchezza e dal contenuto di nutrienti dei suoli dove viene coltivata la quinoa, dalla rotazione colturale utilizzata e dalla resa produttiva che si vuole ottenere. Complessivamente nelle Ande, quando la quinoa viene coltivata dopo le patate, la materia organica e le sostanze nutritive presenti sono favorevoli per la coltivazione della quinoa e pertanto necessitano solo di una concimazione organica (3 t/ha) (Rojas et al., 2004). Se la quinoa segue una coltura cerealicola come mais, frumento o l'orzo, per una buona resa, è necessaria non solo una concimazione organica ma devono anche essere somministrati circa 120 kg di azoto, 50 kg di fosforo e 50 Kg di potassio per ettaro. L'applicazione del materiale organico deve essere fatta durante la preparazione del suolo in modo che sia decomposto ed essere quindi disponibile durante la coltivazione favorendo la ritenzione di umidità e migliorando la struttura del suolo stesso, formando strutture sferiche che ne facilitano l'aerazione. Per quanto riguarda la concimazione chimica, le quantità di azoto devono essere somministrate in due momenti diversi: al momento della semina (circa 70-80 kg/ha) e il rimanente con la sarchiatura. Questo consente una migliore utilizzazione evitando perdite per lisciviazione o volatilizzazione dell'azoto dovute alle alte temperature o per la facilità di percolazione del suolo. Fosforo e potassio sono distribuiti nella totalità al momento della semina.

Da prove realizzate sia in Sud America sia negli Stati Uniti (Colorado) si è osservata una buona risposta delle piante di quinoa alla somministrazione di azoto (Johnson e Ward, 1993).

Secondo Oelke et al. (1992), in terreni irrigati l'incremento di resa ottenuta somministrando azoto sotto forma di urea è stato di circa 16 kg/ha di granella in più per ogni kg/ha di urea aggiunto, rispetto a terreni in cui non è avvenuta la somministrazione, aumentando inoltre il contenuto proteico della quinoa (tabella 4.1). Apporti superiori alla dose consigliata non comportano rilevanti vantaggi sulla coltura, ma anzi la pianta ha risposto con problemi di allettamento e una maturazione più lenta con notevoli perdite di prodotto.

Azoto Kg/ha	Produzione Kg/ha
15	1000
70	1100
140	1500

Tabella 4.1 - Effetto di azoto sui rendimenti quinoa in Colorado (Oelke et al., 1992).

4.5 Controllo delle infestanti

La quinoa come qualsiasi altra pianta è sensibile alle infestanti. Il loro controllo è molto difficoltoso poiché le piante, specialmente nelle prime settimane, sono a crescita molto lenta e subiscono una forte competizione, inoltre non bisogna sottovalutare la forte somiglianza con alcune infestanti (*Chenopodium album* o *farinello comune*).

Il controllo delle malerbe deve iniziare presto per evitare la concorrenza per l'acqua, nutrienti, luce e spazio che influenzano la futura potenziale resa produttiva e la qualità dei semi di quinoa (Mujica et al., 2001).

L'incidenza delle infestanti dipende dal tipo di rotazione effettuata, così come dai controlli effettuati nella coltura precedente.

Il numero di interventi dipende dal tipo di erbe infestanti presenti sulla coltura. In generale si consiglia di fare due interventi durante il ciclo vegetativo della quinoa, uno quando le piantine hanno una dimensione di 15 cm o a 30 giorni dalla semina, e il secondo poco prima dell'inizio della fioritura o a 90 giorni dalla semina. Questa operazione può essere compiuta a mano o a macchina (sarchiatura dell'interfila), in caso di impianti estesi i controlli meccanizzati sono sicuramente i più consigliati per la quantità minima di manodopera impiegata.

Il ricorso a erbicidi è in pratica assente sia perché pochi sono i principi attivi di possibile impiego sia perché i risultati non sempre sono soddisfacenti, in particolare nei confronti dell'efficacia (Oelke et al., 1992).

Buoni risultati sono stati ottenuti con erbicidi di preemergenza, specialmente verso le infestanti a foglia larga, anche se non sono stati ottenuti risultati costanti. La competizione con le infestanti è maggiore con semine tardive, quindi una semina precoce è il mezzo più efficace. Il controllo delle infestanti ha un grande impatto sulla resa produttiva della quinoa, con un aumento della produzione da 640 kg/ha a 1.800 kg/ha (Rojas et al., 2004).

4.6 Controllo delle malattie e dei parassiti

I controlli dei parassiti e delle malattie devono essere portati a termine in modo tempestivo cioè quando il livello di danno è ancora contenuto nel caso di insetti e anche come prevenzione per le malattie. Le malattie che si sono osservate nelle coltivazioni di quinoa sono le stesse presenti in coltivazioni di spinacio e barbabietola da zucchero. Le più rilevanti sono: peronospora (*Peronospora farinosa*), peduncolo rosso (*Phoma exigua* var. *Foveata*), muffa grigia (*Botrytis cinerea*), e il degrado batterico (*Pseudomonas* sp.). Tutte queste hanno causato significative perdite di produzione in Sud America, Nord America e Gran Bretagna (Oelke et al., 1992).

Inoltre ci sono una vasta gamma di insetti che possono danneggiare le piante di quinoa sia durante il ciclo di sviluppo sia al momento della conservazione della granella. Tra questi da evidenziare in particolare due tipi di parassiti della quinoa presenti in Sud America che sono: Kcona Kcona (*Scrobipalpula* sp.) che distrugge le gemme, infiorescenze, oltre a colpire la granella sia immatura che matura, e alcuni minatori fogliari (*Liriomyza* sp.). Altri insetti sono quelli comunemente associati alla barbabietola da zucchero quali afidi radicali (*pemfigo populivenae*) e lepidotteri (*Spodoptera exigua*) (Mujica et al., 2001). Non c'è la possibilità di poter utilizzare insetticidi per il loro controllo. Per quanto riguarda l'afide è possibile l'irrigazione della coltura in modo da chiudere le crepe che si formano con l'evaporazione dell'acqua e quindi bloccare l'accesso diretto dell'insetto alla radice, mentre per controllare i lepidotteri a livello di larva, è possibile l'impiego del *Bacillus thuringiensis*.

4.7 Irrigazione

La quinoa è una pianta molto resistente alla siccità durante il ciclo produttivo, anche se richiede una buona quantità di acqua nelle prime fasi di crescita. L'irrigazione può avere un effetto positivo per dei buoni rendimenti produttivi. In Colorado ad esempio, se la semina viene fatta tra la fine di aprile e metà maggio, non c'è bisogno di irrigazione fino a metà giugno, sempre se nel terreno al momento della semina c'è il giusto grado di umidità (Johnson e Ward., 1993). Comunque le piante non devono essere irrigate fino alla fase di due o tre foglie, perché una eccessiva quantità di acqua nelle prime fasi dopo la germinazione può portare a gravi arresti nella crescita delle piante con perdite notevoli. Irrigazioni eccessive nelle fasi successive possono portare a piante eccessivamente alte e soggette ad allettamento senza alcun miglioramento produttivo. Da alcuni studi svolti in Colorado nel 1987 si è verificato che volumi ridotti di acqua durante il ciclo produttivo hanno comportato un'altezza ridotta della pianta (circa il 50% in meno) con una perdita produttiva inferiore al 20%.

Le irrigazioni dovrebbero essere regolari, fornendo piccole quantità di acqua ogni dieci giorni. Si consiglia di irrigare nelle prime ore del mattino o alla fine del pomeriggio, al fine di evitare un'eccessiva evapotraspirazione. Se l'irrigazione è per aspersione, l'esperienza ha dimostrato che in condizioni di siccità un adacquamento di due ore ogni sei giorni è sufficiente per la normale crescita e la produzione ideale di quinoa.

4.8 Raccolta

La raccolta della quinoa deve essere fatta in maniera opportuna, non solo per evitare perdite dovute agli effetti nocivi del clima e agli attacchi degli uccelli, ma anche per il deterioramento della qualità della granella.

Non è facile l'individuazione dell'epoca più idonea alla raccolta; infatti i panicoli presenti sulla stessa pianta maturano in tempi diversi. La raccolta della quinoa di solito inizia alla caduta delle foglie, quando il seme è difficilmente incidibile con l'unghia. Il modo migliore per determinare se il seme è pronto per la raccolta è di scuotere delicatamente ma vivacemente la pianta o per sfregamento della pannocchia tra le mani per verificare se i semi cadono facilmente. Le piante secche in questo momento assumono colorazioni giallo pallido o rosse. La quinoa durante la fase di maturazione del seme resiste molto bene anche a eventuali leggere gelate. Se alla maturità del raccolto c'è un periodo di elevata umidità relativa (oltre il 70%), i semi sono in grado di germinare nel giro di ventiquattro ore, con la conseguente perdita del raccolto o possono subire un'ossidazione e scolorimento del seme, con relativa perdita di qualità. In zone umide quali la Sierra del Nord Ecuatoriana e la Colombia meridionale, è meglio eseguire la raccolta di quinoa durante la stagione secca (da giugno a settembre), evitando di conseguenza la perdita o il deterioramento dei semi a causa dell'umidità. Il periodo di raccolta è in genere tra agosto e settembre nell'emisfero boreale e tra aprile e maggio nell'emisfero australe (Mujica et al., 2001).

La raccolta della quinoa può essere fatta, oltre che manualmente, come già descritto, anche tramite la completa meccanizzazione riducendo da cinque a tre le fasi di lavoro:

- Trebbiatura
- Essiccazione e cernita
- Confezionamento e stoccaggio

Dato l'interesse e la proiezione che ha preso la coltivazione nella regione andina e in diversi altri Paesi più sviluppati la raccolta meccanizzata è la scelta giusta per le grandi estensioni. In paesi come Stati Uniti, Gran Bretagna, Danimarca e altri paesi è stata testata, per la produzione commerciale di quinoa, la raccolta meccanizzata mediante l'uso di mietitrebbie. Le rese con

queste macchine sono di circa 2000 kg di granella all'ora con un livello di impurità del 10% circa. Tuttavia la raccolta della quinoa con questo metodo richiede determinate condizioni di coltura e alcuni aggiustamenti alla macchina quali una velocità dei cilindri e una portata d'aria inferiori a causa delle piccole dimensioni del seme. Per una raccolta meccanizzata ottimale è necessario raccogliere piante mature e il terreno deve essere completamente libero da infestanti, piante o altre colture, per garantire la qualità del raccolto e un basso livello di impurità. Inoltre, la raccolta meccanica è facilitata se si tratta di varietà di piante non ramificate, di bassa altezza in modo da ridurre al minimo lo sforzo della macchina.

4.9 Essiccazione della granella

Anche se in alcune zone del Perù e dell'altopiano boliviano, la coltivazione della quinoa avviene quasi completamente in un ambiente asciutto, in altre zone, il prodotto finale ottenuto contiene dal 15 al 20% di umidità, a seconda del momento in cui è avvenuta la raccolta o del livello di umidità presente durante la raccolta. Se il seme fosse immagazzinato con questi contenuti di umidità, potrebbero avviarsi alcune attività biochimiche, come la fermentazione, che potrebbero condizionare pesantemente la qualità della granella. Questo processo di deterioramento è accelerato se il contenuto di impurità della granella (pezzi di foglie e fusto, semi di erbe infestanti, semi rotti...) è elevato. Per evitare questo problema è eseguita l'essiccazione della granella raccolta.

Nei vari test condotti da INIAP Ecuador, è stata dimostrata che l'esposizione della granella al sole su superfici di cemento da 6 a 8 ore è sufficiente a ridurre il contenuto d'acqua e portarlo a livelli del 12-14%, a condizione che lo strato di semi non sia superiore a 5 cm, realizzando uno o due rimescolamenti della granella (Mujica et al., 2001).

L'essiccazione con metodi convenzionali è quella eseguita mediante essiccatoi ad aria calda forzata, è giustificata quando il volume di coltura da essiccare è grande. Il processo di essiccazione riduce il peso del prodotto raccolto. La quantità di perdita di peso del raccolto dipende dall'umidità iniziale e dal livello di umidità finale desiderato. Per calcolare la quantità di perdita di peso per essiccazione si può applicare la formula seguente:

$$PF = [(100 - \% UI) \times PI] \times (100 - \% UF)$$

Dove:

PI = peso iniziale,

PF = peso finale

UI = umidità iniziale

UF = umidità finale

Il contenuto di umidità del seme di quinoa è molto importante in quanto è un parametro di valutazione della qualità del chicco e utilizzato per determinare i prezzi di vendita del prodotto. La determinazione del contenuto di umidità nei semi può essere eseguita in laboratorio con vari metodi. Il più comune è asciugare un campione di peso noto per due ore a 135°C, quindi determinare il peso finale, calcolare il contenuto di umidità persa e trasformarla in percentuale. Esistono metodi diretti di misurazione dell'umidità della granella, utilizzando apparecchiature elettroniche a lettura diretta, ma la difficoltà sta nella necessità di una taratura specifica dell'apparecchio per la quinoa.

4.10 Rese produttive

La resa potenziale in granella di quinoa raggiunge gli 11 q/ha, tuttavia, la massima resa ottenuta in condizioni ideali di suolo, temperatura, concimazione e adeguate pratiche colturali è intorno a 6 q/ha (Oelke et al., 1992). Nelle condizioni normali del Sud America si ottengono rese di circa 3,5 q/ha. Nelle condizioni attuali di Perù e Bolivia con scarse precipitazioni, terre marginali, senza concimazione, la produzione media non supera 0,85-1,5 q/ha (Rojas et al., 2004).

Le rese complessive variano a seconda delle varietà, poiché ve ne sono alcune con maggiore capacità produttiva rispetto ad altre. Le rese possono cambiare anche nel caso di somministrazione di fertilizzanti poiché, come già detto, la quinoa risponde positivamente alla concimazione con azoto e fosforo. Inoltre dipendono anche dalle pratiche colturali e dai controlli fitosanitari tempestivi durante il ciclo vegetativo. In generale, le varietà autoctone hanno prestazioni moderate, sono resistenti agli avversi fattori abiotici, ma sono specifiche per un particolare uso e una più alta qualità nutrizionale.

L'indice di raccolta in quinoa è ottenuto dal rapporto tra il peso del seme (resa economica) e il peso secco dell'intera pianta, e mediamente è intorno a 0,30 con un divario di 0,21-0,45, a seconda delle varietà. Il rapporto seme/paglia (rapporto tra il peso dei semi (performance economica) e il peso della paglia ottenuta dopo la trebbiatura) si aggira intorno a valori medi di 0,47, che possono variare da 0,26 a 0,92 (Mujica S. et al., 2001).

La maggior parte della quinoa utilizzata in Nord America e in Europa è importata dal Sud America. Le rese medie prodotte nei campi sperimentali del Colorado negli Stati Uniti sono state di circa 11 q/ha, prodotti su appezzamenti che spaziavano dai 4 ai 30 ha di superficie. La varietà CO407 ha dato rendimenti costanti intorno ai 13 q/ha mentre altre varietà hanno dato delle rese che variano dai 15 ai 19 q/ha. Rese superiori ai 20 q/ha sono possibili con condizioni ideali di coltivazione (umidità e fertilità del terreno, controllo delle infestanti, temperature non elevate alla fioritura...).

Ecotipi / Linee	Rese q/ha	Colore pannocchia
Cahuil	19	misto
CO407-78	18,7	giallo
CO407-06	18,6	giallo
CO407-260	18,7	giallo
Malahue	18	rosso - bianco
Isluga	16,5	misto
Faro	15,7	misto
CO407	13,3	misto

Tabella 4.2 - Rese di varietà selezionate di quinoa in studi di ricerca svolte nel centro-sud Colorado (Oelke et al., 1992).

4.11 Prospettive di miglioramento

Uno dei principali limiti attuali della coltivazione della quinoa consiste nel fatto che quasi tutte le varietà tradizionali, in quantità maggiore o minore, contengono saponine, e queste conferiscono alla granella un sapore amaro, tuttavia, esistono varietà con un basso contenuto di saponina, come ad esempio la Blanca de Junin, o che ne sono addirittura prive, come Sajama e Nariño.

Per secoli la quinoa è stata considerata un alimento di basso prestigio sociale, anche se questo pregiudizio sta lentamente cambiando. Ci deve essere una maggiore consapevolezza del suo valore nutrizionale. Le prospettive per migliorare le tecniche di propagazione e di coltivazione sono abbastanza incoraggianti. La trasformazione agro-industriale è un fattore decisivo per lo sviluppo presente e futuro della coltura, permettendo di aumentare la qualità e gli utilizzi della coltura oltre a renderne più facile la commercializzazione, in modo da incoraggiare i coltivatori non solo a migliorare la produttività, ma anche per aumentare la superficie seminata, la resa e di conseguenza il reddito.

Esperimenti nell'ambito di progetti come quello del COPACA (1990) nel pubblicizzare la conoscenza della quinoa, hanno aperto nuove prospettive per la diffusione della coltura su scala molto più ampia, anche in considerazione della sua importanza strategica nell'alimentazione delle popolazioni ed essere interessante per programmi di sicurezza alimentare.

5. Ruolo Nutrizionale

Da molto tempo è noto che il valore nutrizionale della quinoa è superiore ai cereali tradizionali, per tanto, questa pianta presenta un grande potenziale per il miglioramento dell'alimentazione sia umana sia animale. Le caratteristiche nutrizionali ne fanno una fonte alimentare molto interessante, comparabile se non migliore a quella del latte. Come i cereali, la quinoa, è un'eccellente fonte di amido circa il 60%, ha un buon contenuto in proteine attorno a 12–18 %, il contenuto di grassi varia dal 4,1 a 8,8%, mentre le ceneri, costituite prevalentemente da potassio e fosforo, e la fibra grezza sono rispettivamente intorno al 4,2 e al 3,4%. Rispetto ai comuni cereali la quinoa fornisce anche un maggior apporto di vitamine del gruppo B, e di vitamina E, la più importante vitamina antiossidante liposolubile. Nella quinoa molti minerali sono presenti in concentrazioni superiori a quelli riscontrati per la maggior parte delle colture cerealicole, a condizione però che siano presenti in forme biodisponibili. I semi di quinoa hanno un profilo eccezionalmente ben equilibrato di amminoacidi essenziali (non sintetizzabili cioè dall'organismo e quindi da assumere necessariamente con la dieta). Ad esempio la lisina e gli amminoacidi solforati cistina e metionina sono presenti in concentrazioni insolitamente elevate rispetto alle altre piante. L'assunzione delle proteine con la dieta è un problema per quelle popolazioni che raramente consumano proteine animali e che quindi hanno necessità di sostituirle con le proteine presenti in cereali e legumi. Questi alimenti, pur avendo un sufficiente apporto energetico, offrono livelli di amminoacidi essenziali inadeguati che possono contribuire ad aumentare i casi di malnutrizione. Un modo per contrastare questo problema è trovare dei semi con proteine ad alto valore biologico. A tal proposito ci sono piante alimentari che non sono state pienamente sfruttate, alcune delle quali come la quinoa, l'amaranto e il lupino rispondono a queste caratteristiche.

Altro fattore molto importante della quinoa è l'assenza di glutine, e quindi è un alimento idoneo nella dieta degli individui affetti dal morbo celiaco.

5.1 Proteine

5.1.1 Chimica e aspetti nutrizionali

La caratteristica più importante della quinoa è il suo contenuto proteico, che a seconda della varietà, oscilla tra il 12 e il 18% (valore medio 15%) come si può vedere dalla tabella 5.1, questi valori sono, nella media, nettamente superiori a quelli degli altri cereali, soprattutto di quelli convenzionali, sono maggiori dell'orzo, riso e del mais, e sono paragonabili o superiori rispetto a quelli del frumento (Vendrame, 2004).

	Kj	Kcal	Carboidrati	Proteine	lipidi
Frumento	1419	339	71%	14%	2%
Mais	1528	365	74%	9%	5%
Riso	1515	362	76%	8%	3%
Sorgo	1419	339	75%	11%	3%
Miglio	1582	378	73%	11%	4%
Orzo	1482	354	73%	12%	2%
Segale	1402	335	70%	15%	3%
Avena	1628	389	66%	17%	7%
Quinoa	1566	374	69%	15%	6%
Amaranto	1566	374	66%	14%	7%

Tabella 5.1 – Contenuto energetico (per 100 g) e comparazione percentuale di alcuni cereali integrali (Vendrame, 2004).

I dati della tabella 5.1 si riferiscono ai cereali integrali, ossia completi di germe e crusca. Molti di questi cereali però sono comunemente consumati raffinati. La farina bianca, ad esempio utilizzata nella produzione del pane o della pasta, non raggiunge la percentuale del 14% di proteine presenti nella cariosside del frumento, e anche il riso perde una rilevante quota proteica nel trattamento di sbiancatura e brillatura. La quinoa non subisce invece perdite rilevanti nel contenuto proteico durante la lavorazione industriale per cui i valori della tabella coincidono con quelli dell'alimento. Ancora più rilevante è la composizione amminoacidica delle loro proteine, che rende il valore biologico della quinoa sicuramente superiore a quello degli altri cereali tradizionali. Ciò è dovuto essenzialmente all'elevato contenuto di lisina, che è di norma l'amminoacido limitante dei cereali. Come emerge dalla tabella 5.2, la quinoa ha un contenuto di lisina più che doppio rispetto a quello di frumento, mais e riso. E più che triplo rispetto a quello di sorgo e miglio. Anche rispetto ai cereali più ricchi di lisina, come orzo, segale e avena, il contenuto della quinoa è comunque superiore.

	trp	thr	ile	leu	lys	met	cys	phe	tyr
frumento	1,8	3,7	5,3	9,3	3,0	2,2	2,9	638,0	3,6
mais	0,7	3,5	3,0	11,6	2,7	2,0	1,7	4,6	3,8
riso	1,0	2,8	3,2	6,2	2,9	1,7	0,9	3,9	2,8
sorgo	1,2	3,5	4,3	14,9	2,3	1,7	1,3	5,5	3,2
miglio	1,2	3,5	4,7	14,0	2,1	2,2	2,1	5,8	3,4
orzo	2,1	4,2	4,6	8,5	4,7	2,4	2,8	7,0	3,6
segale	1,5	5,3	5,5	9,8	6,1	2,5	3,3	6,7	3,4
avena	2,3	5,8	6,9	12,8	7,0	3,1	4,1	9,0	5,7
quinoa	1,4	4,6	4,7	7,9	7,3	2,6	3,6	5,4	3,7
amaranto	1,8	5,6	5,8	8,8	7,5	2,3	1,9	5,4	3,3

Tabella 5.2 – Contenuto di aminoacidi essenziali per l'uomo in alcuni cereali integrali (espresso in dg/100 g di alimento) In rosso sono evidenziati gli aminoacidi limitanti (Vendrame, 2004).

Questo valore però non è sufficiente a raggiungere gli standard FAO per la composizione amminoacidica ideale. Infatti, come riportato dalla tabella 5.3, la lisina contenuta nella quinoa è pari al 96% del quantitativo sufficiente a raggiungere gli standard FAO, e resta di conseguenza un aminoacido limitante. Si tratta comunque del valore più alto in assoluto tra tutti i cereali.

	lys	trp	thr	leu	phe+tyr
frumento	38%		79%		
mais	49%	65%			
riso	66%				
sorgo	35%		98%		
miglio	33%	98%	94%		
orzo	64%				
segale	71%	95%			
avena	72%				
quinoa	96%			91%	
amaranto	89%			92%	96%

Tabella 5.3 – Percentuale del quantitativo ottimale di aminoacidi essenziali limitanti. Tutti i valori non indicati sono uguali o superiori al 100% del quantitativo ottimale (Vendrame, 2004).

Nel frumento, ad esempio, il contenuto di questo amminoacido è pari solamente al 38% del quantitativo ottimale. Per quanto riguarda gli altri amminoacidi, la quinoa contiene più istidina e amminoacidi solforati (metionina e cistina) rispetto alla media dei cereali.

La leucina è il secondo amminoacido limitante, ma anche in questo caso si tratta di una limitazione moderata. Secondo gli standard FAO, il contenuto di questo amminoacido è pari al 91% del quantitativo ottimale. Di conseguenza, anche la quinoa si avvantaggia della complementazione con altri alimenti (legumi, formaggio, latte, uova, carne) per essere più completa. L'integrazione ad esempio con i cereali, in particolare il mais, ma anche frumento, riso e sorgo è molto importante soprattutto per le popolazioni del terzo mondo, per le quali è assai più facile avere a disposizione cereali piuttosto che legumi e soprattutto alimenti di origine animale.

Secondo la FAO e l'OMS il quantitativo amminoacidico è comunque sufficiente per l'alimentazione dei bambini (2-12 anni) e degli adulti. Le proteine della quinoa hanno, inoltre, i requisiti per avere un adeguato contenuto di istidina, isoleucina, treonina, valina e amminoacidi aromatici (fenilalanina e tirosina) (Tabella 5.4).

aminoacidi	quinoa	orzo perlato	soia	grano duro	requisiti suggeriti daFAO/OMS		
	mg/g proteine				2-5 anni	10-12 anni	adulti
Istidina	28,8	22,5	27,6	23,5	19	19	16
Isoleucina	35,7	36,5	44,5	38,9	28	28	13
Leucina	59,5	98,2	72,0	68,1	66	44	19
Lisina	54,2	37,2	57,8	22,1	58	44	16
Metionina + Cistina	36,2	41,3	28,9	22,7	25	22	17
Fenilalanina + Tirosina	60,9	84,7	84,8	85,9	63	22	19
Treonina	29,8	34,0	38,6	26,7	34	28	9
Triptofano	11,4	16,6	12,0	12,8	11	9	5
Valina	42,1	49,0	57,1	41,6	35	25	13

Tabella 5.4 – Requisiti di aminoacidi consigliati dalla FAO (James 2009).

Lisina e leucina sono in quantità sufficienti per i bisogni dei bambini di età compresa tra i 10 e i 12 anni mentre sono in quantità più limitate per neonati e bambini di età compresa tra i 2 e 5 anni. Il contenuto di triptofano è simile a quello del grano ma superiore a quello degli altri cereali. La farina di quinoa ha un contenuto di triptofano simile a quello di frumento e avena mentre è inferiore a quello di orzo e miglio perlato e superiore a quello di riso, mais e segale.

5.1.2 Aspetti strutturali delle proteine

I semi di quinoa, come quelli delle altre piante, immagazzinano le proteine nell'embrione per fornire nutrienti per la crescita e lo sviluppo della futura pianta. Queste proteine forniscono gli elementi di base per una rapida crescita del seme e la germinazione del polline. Nel settore alimentare, le proteine immagazzinate nei semi, sono la fonte delle proteine consumate direttamente come cibo dagli esseri umani. Le proteine vegetali sono classificate in base alla loro solubilità in una serie di solventi, come in acqua o in soluzione salina.

È dimostrato che i polipeptidi della quinoa possono essere classificati come albumine e globuline (James, 2009).

Albumine e globuline rappresentano le principali proteine di riserva del seme. Quantitativi insignificanti di proteine fanno parte della frazione della prolamina.

La globulina è una proteina esamerica, cioè composta da sei coppie di sub-unità acide e basiche, che hanno rispettivamente una massa molecolare di 30-40 kDa e di 20-25 kDa, con ciascuna coppia unita da un legame disolfuro. La sequenza analoga delle sei regioni di legame suggerisce

che l'esamero 11S della quinoa ha una struttura simile alla glicinina. La frazione di globulina ha un alto contenuto di glutammina, acido glutammico, asparagina, acido aspartico, arginina, serina, leucina e glicina.

L'albumina, la seconda maggiore proteina (35% delle proteine totali), è una proteina di tipo 2S ha una massa molecolare di 8-9 kDa. La composizione amminoacidica di questa proteina ha mostrato un'elevata presenza di cisteina, arginina, e istidina.

5.1.3 Qualità delle proteine

Per qualità proteica s'intende la capacità delle proteine di soddisfare le esigenze fisiologiche dell'organismo. La qualità dipende dal contenuto di amminoacidi essenziali che sono otto. La qualità proteica dei vari alimenti viene determinata confrontandoli con le proteine presenti nell'uovo e nel latte, perché sono i migliori alimenti in base alla loro utilizzazione da parte degli animali. Nella tabella 5.5 si possono notare le concentrazioni di amminoacidi nel latte, uova, manzo, quinoa, frumento e soia. Il contenuto medio di lisina nella quinoa è di 64 mg/g di proteine inferiore al valore dell'uovo e del latte che risultano essere rispettivamente di 70 e 78 mg/g di proteine (Mujica et al. 2001) anche se ci sono alcune varietà di quinoa, come la varietà "de reno", che contengono valori superiori di lisina (81 mg/g proteina).

Quando si parla di proteine si deve tener conto di due aspetti di calcolo fondamentali: la quantità e la qualità. Calcolare la quantità di proteina non è così importante come può esserlo la valutazione dell'efficienza con cui l'organismo può usare le proteine. Questo porta al secondo punto, la qualità delle proteine. La qualità delle proteine di quinoa è superiore rispetto alle proteine dei cereali per quel che riguarda il contenuto di amminoacidi essenziali. Una proteina è di buona qualità quando riesce soddisfare i requisiti di amminoacidi essenziali.

Aminoacidi	Uovo	Latte vaccino	carne manzo	quinoa	Frumento integrale	Soia
Istidina	22	27	34	31	25	28
Isoleucina	54	47	48	53	35	50
Leucina	86	95	81	63	71	86
Lisina	70	78	89	64	31	70
Metionina + Cistina	57	33	40	28	43	28
Fenilalanina + Tirosidina	93	102	80	72	80	88
Treonina	47	44	46	44	31	42
Triptonano	17	14	12	9	12	14
Valina	66	64	5	48	47	52
Tot con Istidina	512	504	479	412	375	458
Tot senza Istidina	490	477	445	381	350	430

Tabella 5.5 – composizione amminoacidica di qualità delle proteine animali e della quinoa, grano e soia. (Aminoacido mg/g di proteina) (Mujica et al., 2001).

Il valore nutrizionale di una proteina corrisponde alla quantità che si deve assumere per soddisfare i requisiti di ciascun aminoacido essenziale di un individuo per la sintesi delle proteine dei tessuti.

Questo concetto può essere rappresentato dalla seguente equazione:

$$\text{Indice di qualità della proteina} = \frac{\text{Requisito di proteina (N x 6,25) x età x 100}}{\text{...}}$$

Alla luce di questa premessa, è stata esaminata la proteina di quinoa per bambini in età prescolare e per gli adulti (tabella 5.4). I dati relativi sulla composizione amminoacidica di quinoa sono il risultato della media ponderata delle diverse varietà di quinoa. Per determinare i dati concernenti i requisiti di amminoacidi nella proteina ideale (prima colonna delle tabelle 5.6 e 5.7) devono essere moltiplicati i valori della seconda colonna ovvero quelli della composizione amminoacidica delle proteine di quinoa (mg/g) per i valori della terza che riportano i fabbisogni degli amminoacidi da assumere (g/kg/d).

Il modello di richiesta degli amminoacidi per i bambini in età prescolare e per gli adulti sono riportati nella tabella 5.4. Il fabbisogno di proteine corrisponde alle raccomandazioni della FAO e dell'OMS e risulta essere per i bambini in età prescolare di 1,10 g/kg/d e per gli adulti pari a 0,75 g/kg/d.

Nella tabella 5.6 sono presenti le stime del tasso di qualità delle proteine di quinoa per i bambini in età prescolare. Questo ha un valore di 90%, ciò significa che in questa fase di crescita devono essere consumati 1,22 g/kg/d di proteina di quinoa per soddisfare il requisito dell'amminoacido più limitante, che per questa fascia di età è il triptofano. Questo dato sarebbe esatto se ci fosse il totale assorbimento e quindi fossero completate le esigenze di ciascun amminoacido essenziale, ma, considerate le perdite fecali che per la quinoa sono nell'ordine del 20%, la quantità che i bambini dovrebbero assumere in età prescolare è pari a 1,46 g/kg/d. Tenendo presente, come su riportato, che il requisito di proteine è di 1,10 g/kg/d, con questa quantità verrebbe fornito solo 83% di uno qualsiasi degli amminoacidi essenziali, limitando pertanto la sintesi proteica nell'organismo a tali percentuali. È da notare che nella quinoa la lisina non è un amminoacido limitante.

Amminoacidi	Amminoacidi in 1,00 g. proteina "ideale*" (mg)	Composizione amminoacidica delle proteine di quinoa (mg./1.00 g.)	Fabbisogno di amminoacidi in età prescolare (g/kg/d)
Isoleucina	28	53	0,53
Leucina	66	63	1,05
Lisina	58	64	0,91
Totale AAS	25	28	0,89
Totale AAA	63	72	0,87
Treonina	34	44	0,77
Triptofano	11	9	1,22
Valina	35	48	0,72
Istidina	35	48	0,72
	19	31	0,62
Proteine di qualità index = 1,10/1,22 = 90%			

* Per proteina ideale s'intende quella che fornisce quantità sufficienti di amminoacidi essenziali per soddisfare il fabbisogno dell'individuo e consentirne la normale crescita.

Totale AAS = Totale amminoacidi solforati (metionina + cistina).

AAA Totale = Totale amminoacidi aromatici (fenilalanina + tirosina).

Tabella 5.6 – Proteina di quinoa in relazione ai requisiti di amminoacidi e proteine in età prescolare (2 - 5 anni) (Mujica et al., 2001).

Amminoacidi	Amminoacidi in in 0,75 g. di proteina "ideale*" (mg)	Composizione Amminoacidica delle proteine di quinoa (mg./1.00 g.)	Fabbisogno di amminoacidi in età adulta (g/kg/d)
Isoleucina	13	53	0,24
Leucina	19	63	0,3
Lisina	16	64	0,25
Totale AAS	17	28	0,6
Totale AAA	19	72	0,026
Treonina	9	44	0,2
Triptofano	5	9	0,55
Valina	13	48	0,27
Istidina	16	31	0,52
Proteine indice di qualità = 0,75 / 0,60 = 125%			

Tabella 5.7 – Proteina di quinoa rispetto ai requisiti di amminoacidi e proteine per l'adulto (Mujica et al., 2001).

Nella tabella 5.7 si può notare invece che la qualità delle proteine di quinoa per gli adulti è del 125%. Questo indica che la proteina di quinoa copre tutte le esigenze degli amminoacidi essenziali, e supera del 25% il fabbisogno proteico. Considerate però le perdite fecali che si aggirano anche in questo caso attorno al 20%, un adulto dovrebbe mangiare una quantità di quinoa pari a 0,72 g/kg/d. Essendo il fabbisogno proteico per gli adulti di 0,75 g/kg/d, vengono soddisfatti i requisiti di proteine totali, fornendo anche le quantità richieste per ciascuno degli amminoacidi limitanti. Da questi dati si osserva che il tasso di qualità delle proteine varia a seconda dell'età.

5.1.4 Digeribilità delle proteine

La digeribilità delle proteine o biodisponibilità degli amminoacidi è la quantità di proteina realmente digerita e assorbita. La digeribilità della quinoa è diversa a seconda della varietà e del trattamento cui è sottoposta. La varietà Sajama, ad esempio, ha una digeribilità dell'80,2% per quella sottoposta a perlatura e 84,1% nel caso della farina di quinoa (Mujica et al., 2001). Distinguiamo due tipi di digeribilità: apparente e reale. L'equazione della digeribilità apparente è la seguente:

$$D = A/I$$

$$D_{ap} = (I - F)/I \times 100$$

Dove:

D = digeribilità x 100

A = azoto assorbito

I = azoto ingerito

F = azoto fecale.

Nelle feci è presente una quantità di azoto dovuta a desquamazione delle cellule nel tratto digestivo e dalla flora batterica. Per una migliore stima della digeribilità, è necessario calcolare l'escrezione fecale di azoto (F_k), il valore di F corretto e quindi si ottiene l'equazione della digeribilità reale (D_r):

$$D_r = [I - (F - F_k)] \times 100 / I$$

Gli studi di confronto (FAO/OMS, 1991) hanno utilizzato il metodo della digeribilità bilanciata nei ratti, classificando i valori di digeribilità reale delle proteine in tre gamme:

- Alta: dal 93% al 100% per gli alimenti di origine animale e di proteine di soia isolate.
- Media: dall'86% al 92% per il riso brillato, farina integrale, farina d'avena e farina di soia, mentre i valori
- Bassa: dal 70% all'85% per i legumi tra cui fagioli, mais e lenticchie.

Secondo questa classificazione, la granella di quinoa è collocata nella terza gamma, cioè quella a bassa digeribilità.

5.1.5 Indice di efficienza proteica

L'indice di efficienza proteica, meglio conosciuta come PER, è il metodo più semplice per valutare il valore nutritivo delle proteine. Viene calcolato analizzando l'aumento di peso in grammi degli individui nutriti con una determinata dieta e la quantità di proteine assunte misurata sempre in grammi.

$$\text{PER} = \text{peso acquisito (g)} / \text{assunzione di proteine (g)}$$

La Tabella 5.8 evidenzia l'effetto benefico della temperatura sulla proteina di quinoa. Ci sono differenze rilevanti tra la temperatura di 50°C e 87°C.

Campione	Temperatura lavaggio C°	PER + - DE*	PER (Caseina 2,5)
Amarilla	50	2,05 + 0,37	1,59
	70	1,64 + 0,35	1,27
	87	2,36 + 0,33	1,83
Blanca integral		1,42 + 0,39	1,10
	50	2,16 + 0,17	1,68
	70	2,47 + 0,28	1,92
	87	2,99 + 0,22	2,32
Colorada integral		1,52 + 0,19	1,18
	50	1,75 + 0,30	1,36
	70	0,75 + 0,32	0,58
	87	2,00 + 0,32	1,55
Sajama	50	2,39 + ,045	1,86
	70	2,04 + 0,30	1,58
	87	2,72 + 0,33	2,11
Patrón de Caseína		3,21 + 0,38	2,50

Tabella 5.8 - Indice di efficienza proteica (PER) della farina di quinoa (Telleria et. al., 1978)

*DE: deviazione standard.

I valori di PER ottenuti per la varietà di quinoa Blanca integral (2,32) e Sajama (2.11), sono molto vicini al valore PER della caseina (2,50).

Infatti, Cardoso (1950) ha studiato che i suini alimentati con quinoa cotta, come unica fonte proteica, sono cresciuti allo stesso ritmo di quelli alimentati con latte scremato (caseina).

In uno studio Lopez (1976) mostra invece un confronto fra i topi alimentati con quinoa cotta, quinoa cruda e caseina. I topi alimentati con quinoa cotta hanno avuto un maggiore incremento del peso corporeo rispetto al gruppo che assumeva caseina (una differenza di 32 g) che risulta essere statisticamente rilevante. I ratti alimentati con quinoa cruda hanno, al contrario, guadagnato meno peso rispetto a quelli che hanno consumato la caseina. La spiegazione per il maggiore aumento di peso dei primi, cioè quelli che hanno consumato quinoa cotta, è stata riscontrata nel fatto che questi ratti consumavano un quantitativo maggiore (314 g) rispetto a quelli nutriti con caseina (227 g) o con quinoa non cotta (194 g). Un'altra spiegazione dell'aumento di peso con il consumo di quinoa cotta consiste nel fatto che la temperatura di denaturazione delle proteine di quinoa espone le catene amminoacidiche all'azione delle proteasi digestive rendendole più digeribili per l'organismo, inoltre la temperatura distrugge i fattori antinutrizionali, quali la saponina, migliorandone l'appetibilità. La cottura, infatti, sviluppa aromi in cui sono coinvolti gli amminoacidi come precursori. Indagini alimentari hanno dimostrato che gli aromi caratteristici appaiono dalle reazioni dei Composti di Maillard e derivati.

SAPORE				
Aminoacidi	Composto L		Composto D	
	Qualità	Intensità (a)	Qualità	Intensità (a)
Alanina	dolce	12 - 18	dolce	12 - 18
Arginina	amaro		neutro	
Asparagina	neutro		dolce	3 - 6
Ac aspartico	neutro		neutro	
Cistina	neutro		neutro	
Glutammina	neutro		neutro	8 - 12
Ac. Glutamico	al brodo		neutro	
Glicina (b)	dolce	25 - 35		
Istidina	amaro	45 - 35	dolce	2 - 4
Isoleucina	amaro	10 - 12	dolce	10 - 12
Leucina	amaro	11 - 13	dolce	2 - 5
Lisina	dolce		dolce	
Metionina	di zolfo		di zolfo	
Fenilalanina	amaro	5 - 7	dolce	1 - 3
Proline	dolce	25 - 40	neutro	
Serina	amaro	25 - 27		
Treonina	dolce	25 - 35	dolce	30 - 40
Triptofano	amaro	4 - 6	dolce	0,2 - 0,4
Trisonina	amaro	4 - 6	dolce	1 - 3

Tabella 5.9 - Gusto di amminoacidi (in soluzione acquosa a pH 6-7) (Mujica S. et al., 2001)

La tabella 5.9 fornisce i dati sulla qualità e l'intensità del gusto degli amminoacidi. La qualità del gusto dipende dalla seguente configurazione:

- Gli amminoacidi dolci appartengono per lo più alla serie D.
- Gli amminoacidi amari alla serie L.
- Gli amminoacidi ciclici possono essere dolci o amari. Pertanto l'intensità di sapore dipende dalla idrofobicità delle catene laterali. Per esempio, L-triptofano e L-tirosina hanno soglie di percezione molto amare, mentre il D-triptofano è molto dolce.

Utilizzando i dati dello studio di Lopez, è stata calcolata l'efficienza della proteina (PER) della varietà Sajama cotta. Questa presenta valori di 1,48 che è inferiore al PER della caseina pari a 2,50, ma sempre maggiore del valore della farina di quinoa (1.16) e ampiamente della farina di frumento (0,66). L'aggiunta del 20% di quinoa, migliora la qualità delle proteine del frumento nel caso di miscele di farina e pane che hanno valori PER rispettivamente di 1,00 e 0,80 come si nota nella figura 5.1.

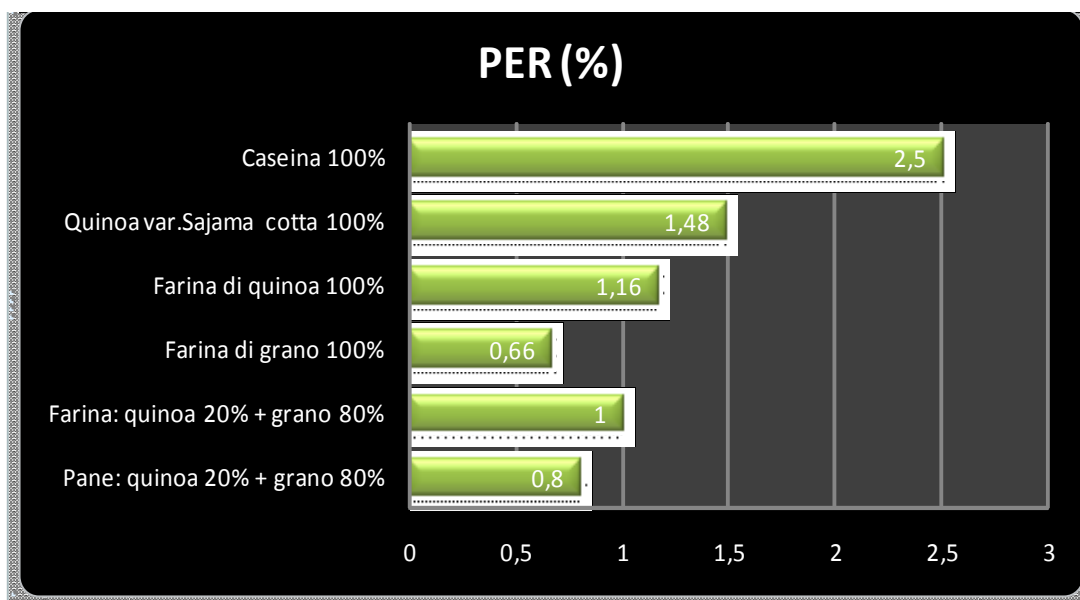


Figura 5.1 - indice di efficienza di proteine nei topi sottoposti a diete a base di grano e quinoa rispetto alle caseine (Mujica et al., 2001).

5.1.6 Effetto del trattamento termico sulle proteine

Telleria (1976) determina l'effetto termico della proteina di quinoa in quattro varietà: Amarilla, Blanca, Colorada e Sajama. La Tabella 5.10 mostra l'effetto del lavaggio e del calore sulla denaturazione proteica. Il processo di lavaggio e ammollo rilascia dall'episperma alcuni amminoacidi che sono collegati ai carboidrati complessi (cellulosa, emicellulosa, beta-glucani e glucofruttanosio, pentosani), glicosidi (saponine) e glicoproteine (lectine). Con il processo termico viene facilitata la digeribilità delle proteine e dell'amido, sia dei cereali sia della quinoa (gelatinizzazione). I trattamenti per la denaturazione di una proteina provocano un'alterazione irreversibile della conformazione originale (struttura secondaria, terziaria e quaternaria), che viene prodotta senza la rottura dei legami covalenti (eccetto i legami disolfuro).

Anche durante la preparazione della quinoa avvengono dei cambiamenti chimici come per qualsiasi altra proteina. Il tipo e l'entità dipendono da diversi parametri: la varietà e le condizioni di processo quali temperatura, pH e la presenza di ossigeno. I risultati di queste reazioni possono

alterare il valore biologico della proteina come ad esempio la conversione degli amminoacidi essenziali in composti derivati che non possono essere utilizzati dal corpo, diminuzione della digeribilità e la distruzione degli amminoacidi essenziali.

In alcune zone la quinoa viene preparata sottoponendo i semi al calore e poi al lavaggio. Questo processo di tostatura con calore secco è utilizzato da alcune aziende per rimuovere il pericarpo che contiene le saponine. Dopo la tostatura, i semi di quinoa acquisiscono un colore marrone che è causato dalla presenza di zuccheri riducenti della reazione di Maillard.

Aminoacido	Amarilla		Blanca		Colorada		Sajama	
	Integrale	87°C	Integrale	87°C	Integrale	87°C	Integrale	87°C
Isoleucina	24,6	43,3	37,7	47,2	33,1	41,7	32,4	29,5
Leucina	59,0	91,5	72,2	101,0	74,1	82,3	69,2	63,6
Lisina	51,5	80,0	67,6	87,7	63,3	82,6	59,6	51,3
AAST	11,2	15,3	20,1	27,5	14,2	23,8	21,0	23,4
AAAT	48,3	74,8	61,9	82,9	62,6	83,1	61,8	58,2
Treonina	29,2	45,9	37,2	52,1	41,1	42,3	35,7	33,1
Triptofano	8,4	9,1	8,8	12,0	8,2	8,7	10,0	10,4
Valina	34,6	54,5	48,0	58,6	45,4	43,6	37,2	41,0

Tabella 5.10 - Composizione degli amminoacidi della quattro varietà di grani quinoa lavata e sottoposta a 87 ° C cottura (mg aminoacido / g proteina) (Telleria, et al.,1976).

AAST = metionina + cistina.

AAAT = fenilalanina + tirosina.

5.2 Carboidrati

5.2.1 Composizione, fisiche, chimiche e proprietà strutturali

I carboidrati possono essere classificati in base al loro grado di polimerizzazione in tre gruppi principali: gli zuccheri (monosaccaridi, disaccaridi), oligosaccaridi e polisaccaridi (amidi).

I carboidrati contenuti nella quinoa sono paragonabili a quelli di orzo e riso (Tabella 5.11).

	Quinoa	Riso	Orzo
Carboidrati per differenza	73,6 - 74	79,2	77,7
Amido	52,2 - 69,2		
Totale fibre dietetiche	7 - 9,7	2,8	15,6
Fibre insolubili	6,8 - 8,4		
Fibre solubili	1,3 - 6,1		
Zucchero	2,9		0,8

Tabella 5.11 - Composizione in carboidrati nei semi di quinoa, riso e orzo (% su base secca) (James, 2009).

L'amido è il principale componente ed è presente tra il 52 e il 69,2% a seconda della varietà (James, 2009). La fibra alimentare totale di quinoa riscontrata è paragonabile a quella dei cereali ed è intorno al 7-9,7%; il contenuto di fibra solubile viene segnalato tra 1,3% e il 6,1%. Infine, si riscontra il 3% di zuccheri semplici.

Gli zuccheri semplici presenti nella quinoa sono principalmente maltosio, seguito da D-Galattosio e D-Ribosio, fruttosio e glucosio.

I carboidrati svolgono una funzione di base nella nutrizione e possono avere diversi effetti sul metabolismo, sul controllo della glicemia e insulina, sulla glicosilazione delle proteine, sul metabolismo del colesterolo e dei trigliceridi.

I carboidrati della quinoa possono essere considerati come un cibo nutraceutico, perché hanno benefici effetti ipoglicemici e inducono un abbassamento degli acidi grassi liberi. Gli studi effettuati in soggetti con celiachia hanno mostrato che l'indice glicemico della quinoa è stato leggermente inferiore, oltre ad indurre livelli più bassi di acidi grassi liberi e concentrazioni inferiori di trigliceridi rispetto alla pasta e al pane senza glutine (James, 2009).

In vitro la digeribilità (α -amilasi) dell'amido della quinoa grezza è stata segnalata al 22%, mentre quello dei campioni in autoclave, cotto e del campione essiccato era rispettivamente del 32, 45 e del 73%. Le saponine non hanno influenza sulla digeribilità dell'amido.

Il contenuto in fibra alimentare totale della farina di quinoa è influenzato dal trattamento termico, mentre la digeribilità della frazione di fibra insolubile non cambia con il trattamento termico.

5.2.2 Amido

L'amido è la principale riserva di energia nelle piante. Per l'uomo le fonti più importanti di amido sono i cereali, i legumi e i tuberi. L'amido è un carboidrato polisaccaridico che consiste di un gran numero di unità di glucosio unite tra loro da un legame glicosidico. È composto da due polimeri: Amilosio che è un polimero lineare in cui le unità di glucosio sono legate tra loro con legami α (1 \rightarrow 4) e amilopectina che è un polimero ramificato che presenta catene di base di struttura simile all'amilosio che si dispongono a formare una struttura ramificata attraverso l'innesto di catene laterali tramite legami α (1 \rightarrow 6).

In natura, la concentrazione di amilosio è intorno al 20-30% mentre per l'amilopectina è mediamente intorno al 70-80%. Per quanto riguarda l'amido della quinoa, il contenuto di amilosio risulta inferiore e si aggira dal 3 al 20%, valori simili ad alcune varietà di riso ma più alto rispetto ad alcune varietà di orzo. (Tabella 5.12).

L'abrasione meccanica sulla quinoa aumenta in modo rilevante il contenuto dell' α -amilasi. Questo sembra essere dovuto alla riduzione del pericarpo durante abrasione. La quinoa ha un contenuto maggiore di α -amilasi rispetto ai cereali.

L'amido della quinoa ha una massa molare media di 11.3×10^6 g/mol un valore inferiore a quella dell'amido del mais che è di 17.4×10^6 g/mol o dell'amido del riso che è di $0.52-1.96 \times 10^8$ g/mol ma superiore di quella dell'amido di frumento 5.5×10^6 g/mol (Lilian E. Abugoch James, 2009).

L'amido nella quinoa è altamente ramificato, con un minimo di polimerizzazione di 4600 unità di glucano e un massimo di 161.000 unità. La lunghezza della catena può dipendere dalla varietà di quinoa, ma è nell'ordine di 500-6000 unità di glucosio. Il grado medio di polimerizzazione dell'amilosio della quinoa (900) è inferiore a quello dell'orzo (1700). L'Amilosio ha una media di 11,6 catene per molecola. L'amilopectina è una delle più grandi molecole che si trovano in natura. Ci sono pochi risultati sulla determinazione del peso molecolare dell'amilopectina dei cereali perché questi amidi sono difficili da sciogliere in acqua e possono essere facilmente degradati. L'amilosio è determinato direttamente, mentre l'amilopectina è determinata solo per differenza con l'amilosio. Nell'amido della quinoa il contenuto di amilopectina stabilito è del 77,5%. La frazione di amilopectina è alta e paragonabile a quella di alcune varietà di riso (Tabella 5.12).

La lunghezza della catena dell'amilopectina della quinoa è di circa 6700 unità glucano. L'amilopectina della quinoa, come quella dell'amaranto e del grano saraceno, contiene un gran numero di catene corte da 8 a 12 unità e un piccolo numero di catene più lunghe di circa 13-20 unità, rispetto agli altri amidi dell'endosperma dei cereali.

	Quinoa	Riso	Orzo
Amilosio	3,5 - 22,5	7,4 - 29,8	1 - 45
Amilopectina	77,5	61	

Tabella 5.12 – Composizione dell'amido di quinoa, riso, orzo (% base secca) (James, 2009).

La granulometria influenza le caratteristiche fisico-chimiche dell'amido. Granulometria e forma sono correlate alla fonte biologica da cui l'amido è stato isolato. In generale, la granulometria può variare da meno di 1 μm a più di 100 μm . In base alla dimensione dei granuli sono state stabilite le seguenti classi:

- Grande (> 25 μm)
- Media (10-25 μm)
- Piccola (5-10 μm)
- Molto piccola (<5 μm)

L'amido della quinoa ha una granulometria molto piccola di circa 1-2 μm .

La Tabella 5.13 mostra le dimensioni dei granuli di diversa provenienza, dimostrando che l'amido della quinoa è paragonabile a quella dell'amaranto e minore di quello di riso o orzo.

	Quinoa	Amaranto	Riso	Orzo
misura μm	0,6 - 2	1 - 2	3 - 8	2 - 3 e 12 - 13

Tabella 5.13 – Dimensioni dei granuli di amido di quinoa, amaranto, riso e orzo (James, 2009).

La foto sottostante (figura 5.2) mostra la forma poligonale dell'amido della quinoa attraverso la scansione con un microscopio elettronico dalla quale risulta essere molto simile ai granuli di amido dell'amaranto e del riso.

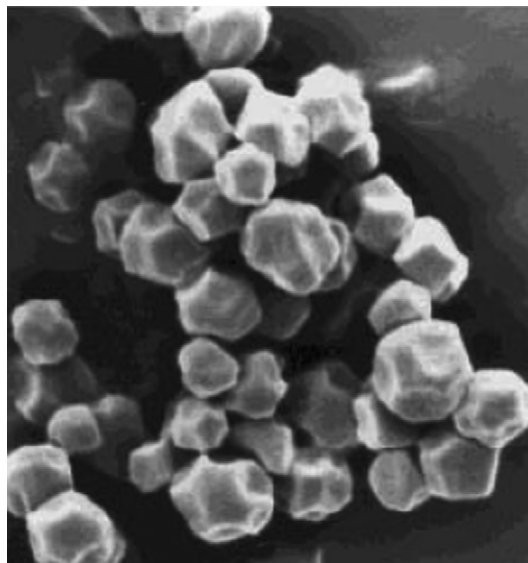


Figura 5.2 Amido di quinoa (Qian e Kuhn, 1999)

L'amido nei semi di quinoa presenta anche dei granuli poligonali e, inoltre, le particelle possono essere presenti singolarmente o come aggregati sferici. Gli aggregati di granuli di circa 20-30 millimetri di diametro sono immagazzinati nel perisperma.

Il diametro del granulo di amido di quinoa è di 2 micron, molto più piccolo dell'amido di mais (30 micron) e dell'amido di patata (140 micron).

Componenti	Roja	Amarilla	Blanca
Amido (metodo polarimetrico)	59,2	58,1	64,2
Amido (metodo del Pcreas)	57,2	58,2	65,2
Zuccheri riduttori (monosaccaridi)	2,0	2,1	1,8
Zuccheri non riduttori (disaccaridi)	2,6	2,2	2,6
Fibra grezza	2,4	3,1	2,1

Tabella 5.14 - Composizione dei carboidrati di tre varietà di quinoa, g /% sulla sostanza secca (Tapia et al., 1979)

5.2.3 Fibra

Oltre all'amido, le cellule del perisperma della quinoa contengono emicellulosa (xilano, galattani, mannani, arabinosio, galattosio), pectine, pentosani, cellulosa e beta-glucani. Questi elementi costituiscono la struttura delle pareti cellulari e sono più abbondanti nelle porzioni esterne rispetto all'interno. Nella quinoa il contenuto di pentosano è variabile.

La farina di segale è eccezionalmente ricca di pentosani (8,4%) rispetto alla media ponderata in quinoa (3,2%). La concentrazione di carboidrati non digeribili (solubile e insolubile in acqua) e lignina (fibra grezza) della farina integrale (10,9%) è superiore di quella della quinoa (2,5%) (James, 2009). Dal punto di vista fisiologico e nutrizionale, i polisaccaridi sono divisi in amido solubile, insolubile e lignina che fa parte della fibra alimentare. La designazione indica la presenza di fibra solubile (5,31 g/100 g) che è stata dispersa in acqua, piuttosto che in una solubilità chimica reale. Il totale della fibra dietetica (FAT) è 7,80 g/100 g di sostanza secca (tabella 5.15) e la media ponderata della fibra totale è 4,90 g/100 g porzione edibile.

	Fibra solubile (G/100g)	Fibra insolubile (G/100g)	FAT (g/100g)
Quinoa	5,31	2,49	7,8

Tabella 5.15 - La fibra solubile, insolubile e fibra alimentare totale (FAT) nel seme di quinoa (Repo-Carrasco, 1992)

Qui di seguito vediamo le caratteristiche peculiari delle fibre alimentari:

- Capacità di ritenzione idrica
- Viscosità
- Sensibilità alla fermentazione
- Inibizione di enzimi digestivi
- Capacità di legarsi agli acidi biliari
- Capacità di scambio cationico di legarsi ai minerali nel lume intestinale: ferro, rame, calcio e zinco che fisiologicamente hanno la capacità di ridurre la glicemia.
- Riduce il colesterolo nel plasma da interferenze dell'assorbimento di colesterolo e acidi biliari nel lume intestinale.
- Migliora la funzione intestinale, diminuendo il tempo di transito e aumentando la massa fecale e la frequenza di defecazione.
- Migliora il substrato fermentabile della microflora normale del lume intestinale.

5.3 Lipidi

I grassi sono coinvolti nella formazione delle membrane che costituiscono l'involucro delle cellule e dei componenti subcellulari. Quasi tutti gli alimenti contengono lipidi. I lipidi, anche se sono componenti minori degli alimenti, richiedono attenzione per la loro elevata reattività, che influisce notevolmente sulla qualità dei prodotti alimentari.

Il significato nutrizionale dei lipidi consiste nel valore energetico elevato dei trigliceridi (9 kcal/g o 39 kJ/g) e per la presenza di acidi grassi essenziali quali acido linoleico (C18: 2n-6), acido linolenico (C18: 3n-3) e acido arachidonico (C20: 4n-6), oltre ad essere portatori di vitamine liposolubili A, D, E, K (James, 2009).

La quinoa è stata considerata una coltura alternativa ai semi oleosi per la sua composizione lipidica. Oltre al contenuto elevato e alla buona qualità biologica delle sue proteine, i semi di quinoa hanno un'interessante composizione lipidica di circa 1,8-9,5% (James, 2009). Anche in questo caso può essere utile un confronto con altri cereali, dal quale emerge come il contenuto lipidico della quinoa sia notevolmente superiore a quello di frumento e riso integrali, e comunque superiore alla media dei cereali.

La quinoa ha un contenuto di olio (7% su base secca) superiore a quello del mais (4,9% su base secca) e minore della soia (20,9% su base secca).

La quinoa contiene elevate quantità di lipidi neutri di cui i trigliceridi sono la frazione presente in maggiore quantità (oltre il 50%). I digliceridi sono presenti nei semi interi e contribuiscono per il 20% della frazione lipidica neutra. Lisofosfatidil etanolamina e fosfatidilcolina sono i più abbondanti (57%) dei lipidi polari totali.

Per quanto riguarda la composizione dei suoi acidi grassi, l'olio di quinoa contiene il 31% di acido oleico, il 45% di acido linoleico e il 3% di acido linolenico. Il restante 21% è costituito da acidi grassi saturi (tra C 16:0 e C 22:0) (Vendrame, 2004). In definitiva, va notato un elevato contenuto di acidi grassi essenziali (linoleico e linolenico) e un buon rapporto tra grassi saturi e insaturi.

Gli acidi grassi Omega-6 e omega-3 sono acidi grassi essenziali perché non possono essere sintetizzati dagli esseri umani, che deve ottenerli tramite gli alimenti. L'acido linoleico è metabolizzato ad acido arachidonico e l'acido linolenico ad acido eicosapentaenoico (EPA) e ad acido docosaesaenoico (DHA). EPA e DHA svolgono importanti ruoli nel metabolismo delle prostaglandine, trombosi e aterosclerosi, sull'immunologia e infiammazioni, e sulla funzione della membrana. Il profilo di acido grasso della quinoa è simile a quello del mais e dell'olio di soia.

L'acido linoleico (C18: 2) è uno degli acidi grassi polinsaturi più abbondanti (PUFA) identificato nella quinoa. I PUFA hanno diversi effetti positivi sulle malattie cardiovascolari e migliorano la sensibilità all'insulina. La frazione di olio della quinoa è di alta qualità e altamente nutriente, avendo un elevato grado di insaturazione. Un'altra caratteristica importante è la naturale presenza di una quantità elevata di vitamina E (tocoferolo), 0,59-2,6 mg/100 g nei semi che funge da naturale difesa contro l'ossidazione dei lipidi. Questo può portare a un olio di quinoa molto stabile avendo la vitamina E che agisce come antiossidante naturale.

Lo squalene e i fitosteroli sono elementi presenti nella frazione lipidica insaponificabile dei prodotti alimentari (come i tocoferoli). Lo squalene è un intermediario nella biosintesi del colesterolo, ed è presente in concentrazioni di 33,9-58,4 mg/100 nella frazione lipidica della quinoa.

Lo squalene è il precursore biochimico di tutta la famiglia degli steroidi, e possiede una efficace attività antiossidante. I tocotrienoli hanno altre importanti funzioni, in particolare servono a mantenere il sistema cardiovascolare sano e possiedono un ruolo nella protezione contro il cancro.

I fitosteroli sono componenti naturali delle membrane delle cellule vegetali che troviamo abbondanti negli oli vegetali, semi e cereali. I fitosteroli hanno differenti effetti biologici come antiinfiammatorio, antiossidante, attività antitumorale, e riduzione del colesterolo. I livelli di fitosteroli della quinoa sono di 63,7 mg/100g di β -sitosterolo, 15,6 mg/100g di campesterolo, e 3,2 mg/100g di stigmasteroli, che sono gli steroli vegetali più abbondanti. Questi livelli sono superiori

a quelli che riscontriamo nell'orzo e nel mais, ma inferiore a quelli presenti nelle lenticchie e nei ceci. I fitosteroli sono importanti elementi della dieta per abbassare le lipoproteine a bassa densità (LDL). La dose di fitosteroli raccomandata per l'organismo è di 0.8-1.0 g equivalenti al giorno.

5.4 Minerali

I semi di quinoa sono anche ricchi di micronutrienti come vitamine e minerali.

	Integrale	desaponificata	farina	avena	orzo
Calcio	86,3	55,1	70-80	58	29
Fosforo	441	404,9	22 - 462	734	221
Potassio	732	656	714 - 855	566	280
Magnesio	502	467,9	161 - 232	235	79
Ferro	15	14,2	2,6 - 6,3	5,4	2,5
Manganese	n.r.	n.r.	3,5	5,6	1,3
Rame	n.r.	n.r.	0,7 - 7,6	0,4	0,4
Zinco	4	4	3,2 - 3,8	3,11	2,1
Sodio	n.r.	n.r.	2,7 - 93	4	9

Tabella 5.16 - Contenuto minerale dei semi quinoa integrale e desaponificata, della farina di quinoa in confronto con avena e orzo (James 2009).

La tabella 5.16 mostra il contenuto di minerali nei semi della farina di quinoa. I principali minerali sono potassio, fosforo e magnesio. Secondo la National Academy of Sciences (2004) le quantità di magnesio, manganese, rame e ferro in 100 g di semi coprono le esigenze quotidiane di bambini e adulti, mentre le quantità di fosforo e zinco sono sufficienti per i bambini, ma coprono il 40-60% del fabbisogno giornaliero degli adulti. Il contenuto di potassio contribuisce tra il 18% e il 22% del fabbisogno dei neonati e degli adulti, mentre il contenuto di calcio soddisfa solo il 10% dei requisiti. Tuttavia, il contenuto di minerali è superiore a quello dei cereali come l'avena (tranne il fosforo) e l'orzo, soprattutto nel caso di potassio, magnesio e calcio (Mujica et al., 2001).

Nella quinoa, fosforo e magnesio sono stati localizzati nel tessuto embrionale, mentre calcio e potassio sono presenti nel pericarpo. L'abrasione dei semi (per l'eliminazione della saponina) causa una diminuzione del contenuto dei minerali del pericarpo, specialmente per quel che riguarda il calcio.

Calcio: è peculiare in numerose caratteristiche strutturali dei tessuti duri e molli del corpo e nella regolazione della trasmissione neuromuscolare, secrezione cellulare e coagulazione del sangue. Per questo motivo il calcio è un elemento essenziale. La quantità giornaliera di calcio raccomandata è di 400 mg/giorno per i bambini da 6 a 12 mesi e 1300 mg/giorno per gli adulti. La quinoa fornisce 114-228 mg/% (tabelle 5.16 e 5.17) con una media ponderata di 104 mg/100 g di parte edibile. Il contenuto di calcio in quinoa è compreso tra 46 e 340 mg/100 g di sostanza secca.

Fosforo: è coinvolto in combinazione con il calcio nella formazione di ossa e denti. Fa parte nelle cellule dei fosfolipidi, fosfoproteine e acidi nucleici, è responsabile della conservazione dell'energia cellulare dei legami fosfato ad alta energia (ATP, GTP, CTP, creatina fosfato). Le

esigenze di fosfato sono dell'ordine di 320-960 mg/giorno. Il contenuto di fosforo di quinoa varia tra i 129 ei 353 mg/% (tabelle 5.17 e 5.18) con una media ponderata di 261 mg/100 g di parte edibile. La concentrazione di fosforo è compresa nell'intervallo di 145-540 mg/100 g di sostanza secca. Il rapporto Ca/P di quinoa è 0,33, ciò significa che vi è un eccesso di fosforo rispetto al calcio (il rapporto non deve essere inferiore a 1,2 e non deve essere superiore a 2,0).

Varietà	Calcio (mg /%)	Fosforo (mg /%)	Ferro (mg /%)
Saraqinoa Agato	141	129	0
Carriera Chaucha	148	324	0
Chaucha Caugahua	123	314	3,2
Grande Guachala	218	339	1,5
Bianco Guachala	162	343	0
Olmedo Saraquinoa	228	353	0
Olmedo Creole	176	239	1,28
Olmedo Chaucha	153	281	1,3
Chaucha La Chimba	153	223	0,5
Juan Montalvo Chaucha	120	311	0,6
Llano Grande Saraquinoa	115	199	0
Chaucha Llano Grande	215	353	0
Otto Chaucha	140	328	0
Chaucha Latacunga	114	211	0
Chaucha Pujilí	180	343	0
Licon macají Calpi	149	231	1,3
Yaruquies Yaruquies	158	145	2,7
Punin Punin	187	203	1,5
IICA - 020 - Oruro	131	273	3,5
IICA - 014 - Patacamaya	158	256	10,5

Tabella 5.17 - Calcio, fosforo e ferro contenuti in diverse varietà di quinoa (Mujica et al., 2001).

Ferro: è il componente principale dell'emoglobina e della mioglobina. Il ferro è essenziale anche negli alimenti, fa parte dei pigmenti e di una serie di enzimi quali perossidasi, catalasi, ed enzimi idrolasi. I fabbisogni dipendono dall'età e dal sesso e sono nell'ordine di 1-2,8 mg/giorno. Per rispondere a questa domanda abbiamo bisogno di una dose giornaliera di alimenti che fornisca un quantitativo di ferro che va da 4 a 30 mg/giorno. Le oscillazioni quotidiane dipendono dalla biodisponibilità di ferro che è in funzione della forma in cui si trova negli alimenti cioè in forma eminica o non eminica. La forma eminica, presente nelle carni legata all'emoglobina o alla mioglobina, è più facilmente assimilabile dall'organismo rispetto alla forma non eminica, presente in cereali, latte e verdura. La quinoa fornisce ferro in forma non eminica. Il contenuto medio di ferro nella quinoa è di 12 mg/100 g di sostanza secca, ben al di sopra dei cereali (Tabella 5.18).

Minerali	Quinoa intero	Cariosside di mais perlata	Orzo integrale
Potassio (K)	697 mg	330 mg	445 mg
Magnesio (Mg)	270 mg	120 mg	115 mg
Sodio (Na)	11,5 mg	6 mg	18 mg
Rame (Cu)	3,7 mg	70-250 mcg	00 mcg
Manganese (Mn)	37,5 mg	480 mg	1650 mcg
Zinco (Zn)	4,8 mg	2500 mcg	3100 mcg
Calcio (Ca)	127 mg	15 mg	40 mg
Fosforo (P)	387 mg	255 mg	340 mg
Ferro (Fe)	12 mg	500-2400 mcg	2800 mcg

Tabella 5.18 - Contenuto di minerali nel quinoa grano, mais e orzo (Mujica et al., 2001).

Potassio: è un catione essenziale nel metabolismo energetico, attiva gli enzimi della glicolisi e della catena respiratoria, il trasporto di membrana e mantiene la differenza di potenziale attraverso le membrane cellulari. In una dieta equilibrata, il consumo di potassio deve raggiungere valori che vanno da 2 a 5,9 g/giorno. I requisiti minimi sono equivalenti a circa 780 mg/giorno. La quinoa contribuisce alla dieta di potassio con 697 mg/100 g di sostanza secca (Tabella 5.18).

Magnesio: un adulto di 70 kg ha bisogno di circa 20-28 g di magnesio e la dose raccomandata è di circa 300-350mg al giorno. La quinoa contiene 270 mg/100 g di sostanza secca. Il magnesio è un componente attivatore di molti enzimi e anche uno stabilizzatore di acidi nucleici e membrane.

Sodio: un adulto che pesa 70 kg richiede un totale di circa 1,4 g di Na⁺/kg. Il ruolo principale del sodio è di regolare la pressione osmotica dei fluidi extracellulari. La quantità consigliata di sodio da assumere è tra 100 e 240 mmol/giorno di NaCl (1,7-6,9 g/giorno). Un consumo eccessivo di sodio può causare disturbi o gravi deficit. La quinoa fornisce 11,5 mg di sodio/100 g di sostanza secca (Tabella 5.18).

Rame: è un elemento di una serie di enzimi redox: citocromo ossidasi, tirosinasi, uricasi, e ossidasi. Nel plasma il rame è trasportato da una proteina, la ceruloplasmina, che catalizza la reazione di Fe²⁺ a Fe³⁺. I requisiti di rame sono di 0,5 mg/giorno per età comprese tra 0 e 5 anni fino a 3 mg al giorno per adulti di età maggiore ai 21 anni, che sono normalmente coperti con un pasto equilibrato. La quinoa fornisce 3,7 mg di rame/100 g di sostanza secca (Tabella 5.18).

Manganese: Nel corpo umano troviamo circa 10-40 mg di manganese. Il manganese agisce sia come un componente dei metalloenzimi: arginasi, piruvato carbossilasi, manganese superossido dismutasi-dipendente (MnSOD) che come enzima attivatore: idrolasi, chinasi, e transferasi. Le esigenze di manganese vanno da 0,3 a 1,0 mg/giorno per i bambini, da 1,0 a 3,0 mg al giorno per gli adolescenti fino 2,0-5,0 mg al giorno per gli adulti. L'alimentazione normale risponde a queste esigenze. La quinoa offre 7,5 mg/100 g di sostanza secca (Tabella 5.18).

Zinco: il contenuto di zinco in un maschio adulto di 70 kg varia da 2 a 4 grammi. Lo zinco è coinvolto in numerosi metalloenzimi (alcol deidrogenasi, lattico deidrogenasi, malatodeidrogenasi, glutammato deidrogenasi, carbossipeptidasi A e B), partecipa anche come catalizzatore per altri enzimi (dipeptidasi, fosfatasi alcalina, lecitinasi ed enolasi) e nelle strutture molecolari

stabilizzanti dei componenti subcellulari e delle membrane. Lo zinco agisce sulla sintesi e la degradazione dei carboidrati, lipidi, proteine e acidi nucleici. Studi recenti indicano un ruolo essenziale dello zinco nella trascrizione e traduzione dei polinucleotidi, come pure nei processi di espressione genica. Il consumo consigliato è di 8,3 mg/giorno per bambini di età inferiore a 1 anno, da 8,4 a 11,3 mg/giorno per bambini in età prescolare e scolare, da 11,5 a 15,5 mg/giorno per gli adolescenti e 14 mg/giorno per gli adulti. La quinoa fornisce mediamente circa 4,8 mg/100 g di materia secca (Tabella 5.18) con una variazione che va da 2,1-6,1 mg/100 g di sostanza secca a seconda della cultivar.

5.5 Vitamine

Le vitamine sono componenti essenziali necessarie per mantenere la normale fisiologia del corpo umano. I normali consumi alimentari, in una equilibrata alimentazione, sono una garanzia sufficiente per una loro corretta assunzione.

Le vitamine sono classificate in base alla loro solubilità. Si distinguono in vitamine liposolubili ed idrosolubili. Tra le liposolubili troviamo le vitamine A, D, E e K e tra quelle idrosolubili vengono incluse la tiamina (B₁), riboflavina (B₂), piridossina (B₆), niacina, biotina, acido pantotenico, acido folico, B₁₂ e acido ascorbico (C).

Le vitamine presenti nella quinoa sono le seguenti (Mujica et al., 2001).

Vitamina A (retinolo): molto importante per la vista, partecipa nella differenziazione cellulare durante lo sviluppo embrionale, nella spermatogenesi e nella risposta immunitaria. I requisiti consigliati di vitamina A variano da 400 µg per i bambini dai 7 ai 12 mesi di età fino a 600 µg di retinolo equivalenti per gli adulti. Una dieta equilibrata copre circa il 75% del fabbisogno con retinolo e il 25% con beta-carotene e altri precursori. La vitamina A è presente nel fegato degli animali, nel grasso del latte e nel tuorlo d'uovo, mentre i caroteni sono di origine vegetale. La quinoa è a basso contenuto di carotene 0,12-0,53 mg/100 g di sostanza secca (tabella 5.19). La mancanza di vitamina A può essere dovuta a una scarsa assunzione durante l'allattamento o, in altre situazioni, per un problema di malassorbimento o di malattia.

Vitamina E: Questo nome è applicato a tutta la famiglia dei tocoferoli e tocotrienoli. Le sue proprietà antiossidanti contro i radicali liberi impediscono la perossidazione lipidica, contribuendo così a mantenere stabile la struttura delle membrane cellulari. Altre funzioni sono: funzione immunitaria (linfociti T), protegge le lipoproteine a bassa densità (LDL) dall'ossidazione e quindi impedisce la formazione di aterosclerosi, protegge il sistema nervoso, muscolare e retina da ossidazione, e infine interviene nella velocità di aggregazione piastrinica.

Necessità quotidiane sono nell'ordine di 2,7 mg/giorno per i bambini da 7 a 12 mesi e di 10 mg/giorno di alfa-tocoferolo equivalenti per gli adulti. La quinoa presenta un intervallo di 4,60-5,90 mg di vitamina E/100 g di materia secca (Tabella 5.19).

Vitamina B₁: la tiamina in forma di tiamina pirofosfato è un coenzima dei complessi enzimatici, quali: piruvatodeidrogenasi, transchetolasi, fosfochetolasi e 2-ossoglutarato deidrogenasi. Scarsa assunzione di cibi ricchi di tiamina (cereali, ortaggi, legumi, tuberi, lievito, frattaglie di bovini e suini, latte, pesce e uova) nei paesi in via di sviluppo porta a carenza di tale vitamina.

L'assunzione giornaliera raccomandata di tiamina è di 0,3 mg/giorno per i bambini da 7 a 12 mesi e 1,2 mg/giorno per gli adulti. La tiamina è presente nel pericarpo del seme di quinoa e il suo contenuto è nell'ordine di 0,05-0,60 mg/100 g di sostanza secca (Tabella 5.19). Si riscontra una grande variabilità di dati che rispondono alle diverse varietà di quinoa, ad esempio la quinoa Roja presenta valori di 1,85 ppm sulla sostanza secca, la quinoa Amarilla valori di 2,05 ppm sulla sostanza secca e la Blanca valori di 1,91 ppm sempre sulla sostanza secca.

Vitamina B₂ (Riboflavina): è coinvolta nei coenzimi: mononucleotide flavina (FMN) e Flavin adenina dinucleotide (FAD) e come flavine con legame covalente, coinvolte nel metabolismo intermedio, catalizzando reazioni redox. Come FAD è parte della catena respiratoria per produrre energia (ATP). Le fonti principali sono i prodotti a base di carne, compreso il pollame, pesce, uova, latticini e verdure. I cereali hanno un contenuto relativamente basso di riboflavina. La quinoa contiene 0,20-0,46 mg di riboflavina/100 g di sostanza secca (Tabella 5.19). Il contenuto di riboflavina della quinoa varia tra 0,01 mg/100 g di parte commestibile (quinoa cotta) e 0,38 mg/100 g porzione edibile (fiocchi quinoa), ciò significa che la riboflavina della quinoa viene persa durante le preparazioni alimentari.

L'apporto nutrizionale consigliato di riboflavina è di 0,4 mg/giorno per i bambini da 7 a 12 mesi di età e 1,3 mg/giorno per gli adulti

Vitamine	mg/100g
Vitamina A	0,12-0,53
Vitamina E	4,60-5,90
Tiamina	0,05-0,60
Riboflavina	0,20-0,46
Niacina	0,16-1,60
Acido ascorbico	0,00-8,50

Tabella 5.19 - Vitamine nel seme di quinoa (mg/100 g di sostanza secca) (Ruales et al, 1992).

Niacina: questa vitamina agisce sul metabolismo cellulare in forma di coenzima della deidrogenasi: NAD⁺ e NADP⁺ come accettore di elettroni e donatore di idrogeno in molte reazioni redox e nella biosintesi degli acidi grassi e steroidi. La niacina è ampiamente distribuita negli alimenti di origine animale e vegetale. Nel mais, la biodisponibilità di niacina aumenta con il pretrattamento con acqua di calce (preparazione delle tortillas in Messico e America Centrale). I chicchi di caffè verde perdono i gruppi metilici della trigonellina (acido 1-metilnicotínico) durante la tostatura, aumentando l'acido nicotínico.

Questi fenomeni avvengono anche durante il processo di preparazione dei semi di quinoa, come la tostatura utilizzata per estrarre le saponine. I valori di niacina nella quinoa sono negli intervalli di 0,16-1,60 mg/100 g di sostanza secca (Tabella 5.19) con una media ponderata di 1,15 mg/100 g di porzione edibile. L'assunzione giornaliera raccomandata di niacina dovrebbe essere dell'ordine dei 4 mg di niacina equivalenti (EN)/giorno per i bambini 7 a 12 mesi di età e di 16 mg/giorno per gli adulti.

Vitamina C (Acido L-ascorbico): è coinvolta nelle reazioni di sintesi delle catecolamine, idrossiprolina, idrossitriptofano e nell'idrossilazione di deossicorticosterone e corticosterone. Fonti ricche di vitamina C sono la frutta, le verdure ed i tuberi. Il contenuto di vitamina C delle varietà di quinoa va da 0 mg/100 g a 8,50 mg/100 g di sostanza secca (Tabella 5.19). Con l'alimentazione quotidiana si devono fornire 30 mg/giorno per i bambini da 7 a 12 mesi di età e 45 mg/giorno per gli adulti.

5.6 Composti fenolici e flavonoidi

Sono stati isolati sei glicosidi del flavonolo dai semi di quinoa. Questi composti presentano una capacità antiossidante, e suggeriscono che la quinoa può servire come agente per l'eliminazione dei radicali liberi. Il contenuto di tannino registrato è di 0,051%, un valore paragonabile a quello

dell'amaranto. I contenuti riportati sono stati di: 251,5 mg/g di acido ferulico, 0,8 mg/g di acido p-cumarico, e 6,31 mg/g acido caffeico, dimostrando che la quinoa ha un'attività antiossidante superiore rispetto ad alcuni cereali (riso e grano saraceno).

5.7 Fattori antinutrizionali

La quinoa contiene una serie di elementi tossici quali gli inibitori della tripsina e le saponine. Tuttavia la quinoa può essere consumata se opportunamente trattata con un pre-lavaggio prima della preparazione alimentare.

5.7.1 Inibitori della tripsina

La presenza di proteasi nel cibo riduce il valore biologico delle proteine. Questo gruppo di fattori è meglio conosciuto come inibitore della tripsina, e inibisce l'attività della tripsina secreta dal pancreas esocrino.

La quantità di inibitore della tripsina per campione di unità sono molto bassi, 1,36-5,04 UTI/ml di campione di quinoa, ben sotto ai valori che si trovano nella soia (24,5 UTI/ml) (James, 2009). Inoltre, l'inibitore di tripsina è presente nella quinoa in forma termolabile e quindi facilmente inattivabile con il trattamento termico.

5.7.2 Saponine

I semi della quinoa contengono saponine, una difesa naturale che rende il seme indigesto a eventuali predatori e per protezione contro alcuni elementi patogeni.

Le saponine sono un ampio gruppo di glicosidi che si trovano nelle piante, il loro nome deriva dalla pianta del genere *Saponaria*, la cui radice è stata utilizzata come sapone (Sapo, onis = sapone), essendo solubile in acqua e formando schiuma.

Le saponine sono glicosidi terpenici e sono utilizzate dalle piante come sistemi difensivi contro organismi patogeni, in particolare funghi. In alcuni casi esse sono già presenti; altre volte, come nel caso in cui la pianta abbia subito un danno, vengono sintetizzate da precursori.

È stato accertato che l'azione fungicida è dovuta alla reazione delle saponine con steroli presenti nelle membrane delle ife dei funghi, procurando la rottura della membrana e la conseguente morte del fungo. (U.S.Environmental Protection Agency).

Questi composti hanno un gusto amaro e, se consumati in grandi quantità, sono tossici. In generale le saponine sono contenute nel pericarpo, ad eccezione delle varietà dolci (contenenti meno di 0,11% di saponina) o quelle senza saponina. Tradizionalmente, la scienza della nutrizione considera questi glicosidi come sostanze antinutrizionali, perché riducono l'assorbimento intestinale di svariati nutrienti (proteine, lipidi e carboidrati). Studi sui topi hanno rivelato che gli animali nutriti con una dieta di quinoa non lavata hanno mostrato danni alla crescita e una ridotta efficienza di conversione alimentare (James, 2009).

In base alla loro struttura chimica, le saponine possono essere parzialmente rimosse mediante lavaggio con acqua (preferibilmente leggermente alcalina), ma è stato riscontrato che anche dopo questo lavaggio rimane un residuo di saponina nel seme. Le saponine sono termostabili (ossia non inattivate dalla cottura), quindi il lavaggio o l'abrasione del pericarpo sono l'unico sistema per eliminarle.

Il sapore amaro dato dalle saponine potrebbe potenzialmente essere ridotto con processi di estrusione e tostatura. Le saponine sono composti che contengono nella loro struttura catene di zuccheri e un triterpene aglicone (sapogenina).

Sono classificate in base al numero di catene di zucchero nella loro struttura come mono-, di-, o tridesmoside. Sono quattro le strutture principali di sapogenine individuate nella quinoa: acido doleanolico, ederagenina, acido fitolaccagenico, e 30-o-metilspergulagenato. I carboidrati

principali sono glucosio, arabinosio e galattosio. Inoltre, 20 saponine triterpeniche, sono state isolate da diverse parti del *Chenopodium quinoa* (fiori, tegumenti e semi). Il contenuto di saponina in semi con genotipi dolci varia da 0,02% al 0,04% e nei semi con genotipi amari da 0,14% al 2,3%.

Questi valori sono superiori rispetto a quelli di soia e avena, ma inferiori a quello del pisello verde. Le saponine monodesmoside hanno attività emolitica. L'emolisi può essere prodotta dall'interazione delle saponine con le membrane dei globuli rossi, producendo pori che ne causano la rottura.

Le saponine hanno dimostrato attività insetticida, antibiotica, fungicida, e farmacologica. Sono state trovate cinque saponine della quinoa (Glicosidi dell'acido oleanolico e ederagenina) che hanno mostrato una certa attività antifungina sulla *Candida albicans* e *Botrytis cinerea*.

Le saponine inoltre, sono studiate anche perché faultrici di diversi benefici sulla salute, avendo una grande varietà di effetti:

- Biologici: come analgesici, antinfiammatori, antimicrobici e antivirali, antiossidanti
- Sull'assorbimento di minerali e vitamine e sulla crescita degli animali
- Emolitici e immunostimolanti, aumento della permeabilità della mucosa intestinale, azione neuroprotettiva e la riduzione di assorbimento di grassi.

Svolgono inoltre azione ipocolesterolemizzante. Le saponine chelano, infatti, i sali biliari, impedendone il riassorbimento e portando alla loro eliminazione attraverso le feci e quindi il fegato non potendo riutilizzare i sali biliari, è costretto a fabbricarne di nuovi, consumando colesterolo.

Tuttavia, le proprietà biologiche delle saponine di quinoa richiedono altri studi.

Infine, le saponine hanno importanza commerciale-industriale in quanto sono utilizzate nella preparazione di saponi, detersivi, e shampoo.

Varietà	Integrale	Estrazione temperatura di 50°C
Amarilla	2,3	0,48
Blanca	1,9	0,46
Colorada	2,8	0,66
Sajama	1,7	0,33

Tabella 5.20 - Percentuale di saponine in quattro varietà di quinoa in un approccio globale ed estratti a diverse temperature (base secca) (Telleria et al., 1978).

5.8 Valori nutrizionali della foglia

Il consumo di foglie giovani della quinoa fa parte delle abitudini alimentari tradizionali dei villaggi in cui vegeta la quinoa (Cornejo, 1976). Di solito sono consumate durante la fase vegetativa della pianta (in Sud America da dicembre a febbraio).

La Tabella 5.21 rappresenta il contenuto proteico nelle foglie di quinoa, sulla base della sostanza secca che varia da 17,3% g (real de Bolivia) a 23,7% g (blanca real) ed è anche una buona fonte di minerali e vitamine. Le foglie giovani vengono consumate crude come insalata o cotte.

Varietà	% di materia secca	% totale ceneri	Proteine g/%ss
Sajama	12,7	27,1	21,9
Real de Bolivia	16,4	21,9	17,3
Blanca real	15,1	24,2	23,7
Blanca amarga	18,2	19,7	22,9
Cheweca	15,1	20,7	20,2
Tupiza	16,3	21,7	20,3

Tabella 5.21 - L'analisi chimica della foglia di sei varietà di quinoa (Cornejo, 1976).

5.9 Proprietà nutraceutiche

Il termine nutraceutico, che unisce le parole nutrizione e farmaceutica, sta a indicare che si tratta di un alimento dalle caratteristiche mediche e sanitarie, compresa la prevenzione e il trattamento delle malattie. Attualmente non c'è una regola che definisca le caratteristiche che i prodotti devono avere per potersi avvalere di tale definizione. Per questo motivo, il termine è spesso usato per prodotti con diversi usi ed efficacia. Grazie alle recenti scoperte nel campo biomolecolare, ricercatori e medici stanno cooperando allo sviluppo di modelli per integrare e regolamentare le informazioni provenienti dalla moderna pratica medica con quelle riguardanti le scoperte nel campo biologico - botanico (Accorsi, 2009).

La quinoa è una pianta dalle accertate proprietà nutraceutiche, in quanto ricca di tocoferoli e vitamina E: molecole anfipatiche la cui principale azione è quella di limitare la presenza di radicali liberi nelle cellule. La principale fonte di tocoferoli per animali e umani sono gli oli vegetali, prodotti dalle piante oleaginose, contenenti acidi grassi polinsaturi; questi ultimi sono protetti contro i danni ossidativi da antiossidanti, come per l'appunto i tocoferoli.

Le principali fonti di tocoferoli sono il frumento *Triticum aestivum* (da cui si ricava l'olio di germe di grano), la colza *Brassica napus*, la palma *Elaeis guinnensis* (da cui si ricavano l'omonimo olio e il palmito), l'olivo *Olea europea* (da cui si ricava l'olio d'oliva), il girasole *Helianthus annuus*, la soia *Glicine max*, e più in generale tutte le piante fonti di matrici oleaginose. Questi oli contengono alfa-, beta-, delta- e gamma-tocoferoli in diversa concentrazione, con predominanza di gamma tocoferolo rispetto all'alfa-tocoferolo. Da molti anni è nota la fondamentale importanza della vitamina E nella dieta, infatti, la quantità di tocoferoli assunta attraverso la dieta, è inversamente proporzionale all'apparire delle malattie cardiovascolari. Nell'Uomo la carenza di tocoferoli è piuttosto rara e in genere si manifesta solo in Paesi con una povertà diffusa.

6. Post-raccolta

6.1 Usi della quinoa

La quinoa è prodotta in Bolivia, Perù, Ecuador, Cile, Argentina e Colombia. Viene esportata principalmente in Europa e Stati Uniti sotto forma di quinoa secca e senza saponina.

La quinoa, per le sue caratteristiche, è stata introdotta in Europa come sostituto della carne per le vicende legate al problema della BSE bovina, che ha riportato all'attenzione pubblica la concreta possibilità della produzione e del consumo di proteina alternativa a quella della carne (Casini, 2002).

Si conoscono molti modi in cui essa può essere consumata: cotta, come farina o come estruso.

Nella zona andina, e non solo, sono stati fatti grandi sforzi per promuovere il consumo di quinoa a livello familiare; la troviamo, infatti, inserita in diverse ricette e in una vasta gamma di preparati, lavorati o semilavorati, che comprendono farina, torte, pane, biscotti, pasticcini, bibite, liquori, dolci, marmellate, ecc...

La farina di quinoa è utilizzata quasi completamente nei prodotti del settore farina. Diverse prove hanno dimostrato la possibilità di aggiungere 10, 15, 20 e anche 40% di farina di quinoa in pane, fino al 40% in pasta, fino al 60% in biscotti e fino al 70% in snack (Mujica et al., 2006). La resa di farina di quinoa varia dal 62% per il seme senza desaponificazione all'83% per la quinoa lavata. La resa di fiore di farina (farina completamente raffinata), si aggira a seconda della varietà dal 33 al 46%. Nonostante queste apparenti limitazioni nel potenziale di estrazione della farina, il vantaggio principale della farina di quinoa sembra essere dovuto al fatto che soddisfa una domanda crescente nei mercati internazionali di prodotti senza glutine.

Altre forme di utilizzo della quinoa nella trasformazione per il consumo umano sono i fiocchi di quinoa, la quinoa zuccherata e aromatizzata, "porridge" di quinoa come cibo per bambini, quinoa come cereali per la colazione e prodotti di consumo istantaneo basati su quinoa espansa o estrusa. Molti di questi prodotti e sottoprodotti si basano esclusivamente sulla quinoa, mentre altri sono miscele con altri prodotti quali farina di frumento, semolino e banana o con aromatizzanti tipo il cioccolato, vaniglia, miele, ecc. In altri casi è utilizzata per arricchire specifici prodotti atti a soddisfare determinate carenze nutrizionali. Il cibo per bambini a base di quinoa, soddisfa le raccomandazioni di proteine e alcune vitamine, ma è necessario integrarla con vitamina A, vitamina C e calcio da altre fonti.

6.2 Standard di qualità

Per promuovere il consumo di quinoa a livello regionale, nazionale e internazionale, si rende necessario garantire la qualità dei prodotti destinati al consumo offerti sui mercati. In Ecuador sono state emanate una serie di normative per determinare standard qualitativi certi per definire le caratteristiche della quinoa. Ad esempio troviamo lo standard AG-05-04-412 che stabilisce le caratteristiche di qualità della quinoa, quali la contaminazione da impurità, la presenza di semi di quinoa selvatica, il colore del seme, il contenuto di umidità, i residui di fitofarmaci, e i contenuti di saponina. Sempre in Ecuador le norme "inen" emanate dallo "Istituto Ecuatoriano de Normalización" certificano, la qualità della quinoa, e sono: inen 1670 per il tenore di proteine, inen 1671 per il contenuto di impurità e inen 1672 per il contenuto di saponina.

6.3 Potenziale agroalimentare

La quinoa è un tipico prodotto agroalimentare. La rimozione forzata della saponina, come più volte riportato, è un requisito fondamentale prima del consumo, ed è un processo agroindustriale

che da un valore aggiunto al prodotto. Alcuni prodotti sono già disponibili per i consumatori altri invece sono, per adesso, sconosciuti ma possono entrare nell'uso corrente (Mujica et al., 2006).

Quinoa perlata: è così chiamata la quinoa selezionata e desaponificata con metodi fisici, chimici e meccanici rendendola adatta per il consumo umano. È un prodotto privo di impurezze e sostanze antinutrizionali come la saponina. Per ottenere la quinoa perlata, i semi sono sottoposti solamente al processo di desaponificazione.

Fiocchi di Quinoa: i fiocchi sono i semi di quinoa perlata che hanno subito un processo di laminazione o pressione. I fiocchi di quinoa si ottengono quando i semi sono sottoposti a pressione tra dei rulli che ne conferiscono una forma pressoché circolare.

Farina di quinoa: La farina è la polvere derivante dalla macinazione dei semi. Nel settore alimentare, può essere combinata con diversi tipi di farina per ottenere prodotti da forno.

Tempeh: Il tempeh o tempè di quinoa è un alimento fermentato ricavato dai semi della quinoa ed è in pratica un surrogato della carne. Il procedimento utilizzato è analogo a quello utilizzato per la preparazione del tempeh di soia (carne di soia). La preparazione del tempè prevede l'ammorbidimento dei semi, con una loro parziale cottura, per ridurli in poltiglia. In seguito è aggiunto un composto acidificante (di solito aceto) e un fungo fermentante, il *Rhizopus oligosporus*. Il preparato è poi disteso e messo a fermentare per circa 24 ore a una temperatura di circa 30 °C. In un tempè ben riuscito, i semi sono saldati fra loro in un involuppo di miceli bianchi. Durante il processo di fermentazione, a basse temperature, o in situazione di forte ventilazione, possono formarsi sulla superficie delle macchie nere o grigie di spore, che non alterano il sapore e la qualità del prodotto. Come effetto del processo di fermentazione è possibile percepire un leggero odore di ammoniaca, odore che non deve essere eccessivo. La fermentazione del *Rhizopus oligosporus* ha un'attività benefica che agisce sugli inibitori dei lipidi, proteine e tripsina, oltre a dare al prodotto un aroma e un sapore speciale. Il tempo di cottura di questo prodotto è di soli 5 minuti a 92°C. Il prodotto finale è una pasta bianca, solida, con profumo gradevole, composta dai semi di quinoa associati con il micelio del fungo.

Mortadella con quinoa: sono state testate varie formulazioni e prodotti da miscelare con la quinoa. La migliore formulazione è quella composta da: 45% di quinoa, il 40% manzo, 10% di banane verdi, e il 5% di arachidi. Il tempo di cottura raccomandato in questo caso è di 10 minuti. Il prodotto finale soddisfa i requisiti di qualità della mortadella, in base allo standard "inen 1340".

Farina di quinoa precotta: si aggiunge alla farina il 30% di acqua, quindi si esegue una cottura con tempi diversi (da 5 a 20 minuti) in un'autoclave. La quinoa precotta viene poi essiccata a 50 °C in un forno fino a portarla al 10% di umidità. Viene poi macinata e fatta passare attraverso un setaccio a maglia (adatto per la cottura della farina), in modo da ottenere un prodotto pronto per qualsiasi uso nell'industria della farina.

Latte gelificato e aromatizzato alla quinoa: la percentuale di farina di quinoa utilizzata è solo del 3%. Il prodotto finale presenta buon sapore e aroma, contiene il 12% di proteine e un eccellente profilo microbiologico.

Esiste anche la possibilità di usare la quinoa ed i suoi sottoprodotti in altri settori oltre a quello alimentare. Ad esempio, l'uso della saponina come emulsionante di grassi e oli, come biopesticida, testato con successo in Bolivia, o per usi cosmetici tipo saponi, creme per la pelle.....

7. Lavorazione industriale della quinoa

Uno dei primi progetti industriali con la quinoa sviluppato nella regione andina è senza dubbio il progetto Huarina realizzato in Bolivia. Istituito nel 1979 con l'appoggio della FAO, era un centro di elaborazione della quinoa. Il diagramma di flusso della trasformazione della quinoa comprende le seguenti fasi:

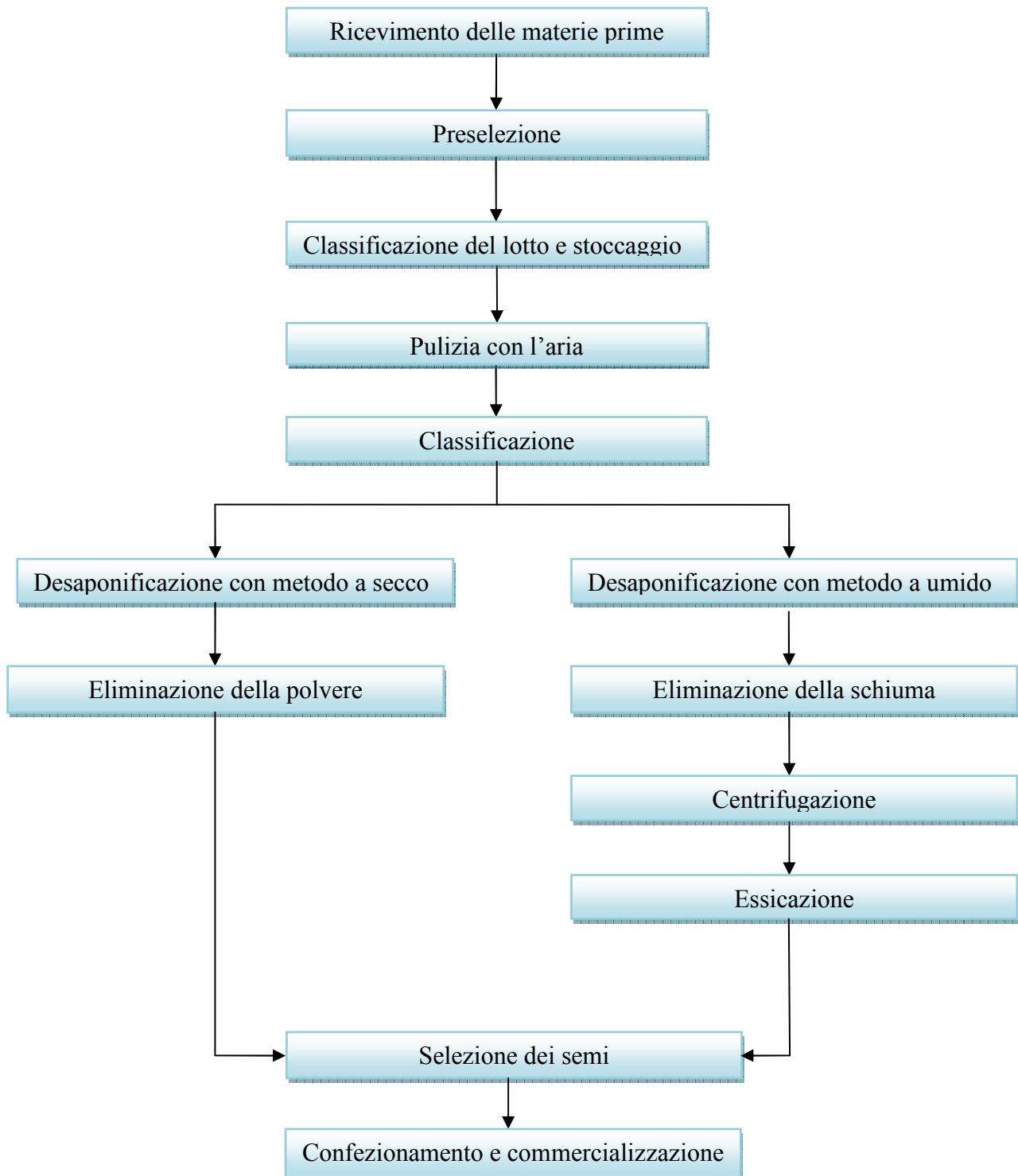


Figura 7.1 Diagramma di flusso della lavorazione della quinoa (Mujica S., et al., 2006).

Le esperienze in questo centro hanno riguardato principalmente l'utilizzo di tre tipi di quinoa: Sajama, Reale e Creole.

I prodotti offerti sul mercato sono la quinoa perlata, i fiocchi di quinoa e la farina di quinoa. Le percentuali di materiale di scarto e di perdite registrate nel corso del processo per queste varietà sono state rispettivamente di: 0,28, 0,35 e 0,38% dopo la pulizia con l'aria; 1,65, 2,12 e 1,12%, dopo la classificazione; 1,1, 1,5 e 1,86%, dopo la desaponificazione, e circa lo 0,5%, dopo la macinazione o laminazione nel caso di farina e fiocchi, dando una perdita totale rispettivamente di 3,53, 4,47 e 3,86% per ciascuna varietà di quinoa (Mujica et al., 2006).

7.1 Prime operazioni sul seme

Dopo l'arrivo della materia prima essiccata avvengono le prime lavorazioni che sono:

Preselezione: è un lavoro importante che mira a eliminare i semi piccoli (Chini), l'eventuale residuo di terreno, ciottoli e i semi di piante infestanti. Se non viene eseguita, le rese risultano basse, e vanno ad incidere sul costo con la necessità di una maggiore potenza di lavorazione e di utilizzare grandi quantità di acqua nei passaggi successivi.

Classificazione del lotto e stoccaggio: la classificazione viene fatta per lotto e per qualità.

La classificazione per lotto della quinoa viene fatta tenendo conto dell'origine della granella mentre la classificazione secondo la qualità del seme avviene in base ai seguenti parametri:

- Nome della varietà
- granulometria
- Quantità di impurità (ramoscelli e ciottoli)

7.2 Pulizia e classificazione della granella

Una seconda pulizia più accurata permette la rimozione delle impurità dal seme. È una pratica importante prima di iniziare la lavorazione effettiva, permettendo di migliorare la qualità e la presentazione degli stessi, favorendone la conservazione. Le impurità sono igroscopiche e sensibili agli attacchi di muffe e batteri, che accelerano il deterioramento della granella immagazzinata.

La classificazione della granella, dovrebbe essere prassi normale dell'agricoltore, in quanto permette di ottenere maggiori opportunità di vendita e prezzi migliori in quanto viene fornita granella di qualità più elevata (Aroni e Barco, 2006). Nel caso della quinoa, sono stati identificati almeno tre metodi per la pulizia della granella dopo la raccolta:

a) Pulizia tradizionale

La selezione della granella viene eseguita manualmente con l'ausilio di setacci o schermi e l'eliminazione delle impurità (foglie, perigoni, semi estranei, ecc), è eseguita lanciando la granella in aria, per sfruttarne le correnti. Questi metodi sono utilizzati da piccoli agricoltori, la cui produzione è principalmente di sussistenza.

b) Pulizia e classificazione meccanica

Considerando la difficoltà di ottenere una macchina specifica per pulire e calibrare i semi di quinoa a livello aziendale, specialmente per i piccoli produttori, la scelta migliore è l'adattamento dei modelli di macchine già presenti in azienda, in modo che la pulizia e la classificazione della granella di quinoa non sia l'unico utilizzo abbassando così i costi di gestione. In Ecuador, alcuni

test sono stati eseguiti per regolare degli apparecchi selezionatori per la quinoa, trovando il sistema più adeguato per la sua lavorazione. È conosciuto come "cassetto a schermi" o "Mini Clipper", e permette la classificazione per dimensione dei semi, che viene eseguita attraverso una serie di setacci, la rimozione delle impurità avviene sempre con un setaccio e tramite una ventilazione forzata finale. Dalle esperienze di classificazione con questa macchina è stato definito il seguente processo di classificazione e di tassi di estrazione.

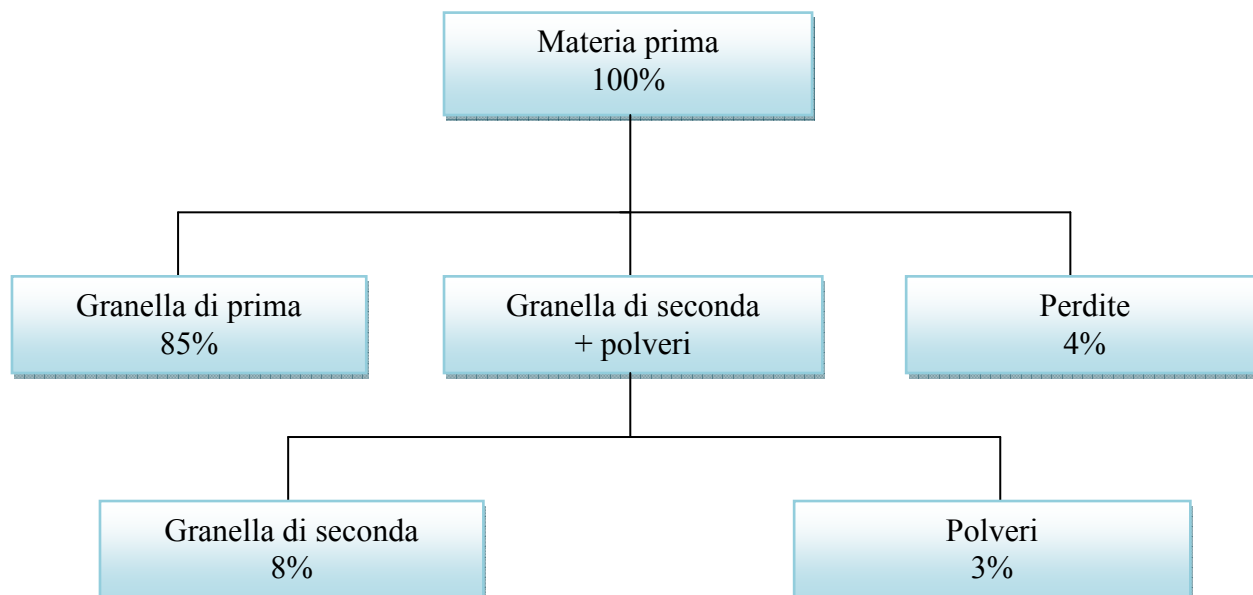


Figura 7.2 Descrizione del processo di classificazione della granella di quinoa e la percentuale di estrazione dei sottoprodotti (Mujica S., et al., 2001).

I risultati delle altre prove classificate per la quinoa, sono presentati nella Tabella 7.1.

Metodo di classificazione	Granella prima qualità %	Granella seconda qualità %	Impurezze %
Clipper industriale	85,6	9,7	4,6
Mini clipper	88,6	4,2	7,1
Manuale	86,8	9,1	4,0
media	87,0	7,7	5,2

Tabella 7.1 - Risposta dei tre metodi di classificazione della granella di quinoa (Nieto e Soria, 1991)

c) Pulizia industriale

Quando la produzione di quinoa passa a livello industriale ed è quindi necessario dover elaborare grandi volumi, la pulizia della granella e lo smistamento devono avvenire con macchine per la lavorazione industriale. Queste macchine sono costituite da quattro schermi: due setacci, due calibratori, e due ventilatori. Nel caso della quinoa, questi quattro schermi sono i seguenti:

- Primo schermo (Pulizia), setaccio con maglie di 4 mm
- Secondo schermo (Classificazione), calibratore con maglie di 1,3 mm
- Terzo schermo (Pulizia), secondo setaccio con maglie di dimensioni inferiori di 2,2 millimetri
- Quarto schermo (Classificazione), secondo calibratore con maglie di 1,8 mm

Il primo schermo separa le impurità di grandi dimensioni e volume. Il secondo schermo separa piccoli semi di piante infestanti, parti immature e fa una prima classificazione dei semi. Il terzo schermo separa i semi di quinoa dai semi indesiderati di grandi dimensioni. Il quarto schermo è quello della cernita e separazione della quinoa con diametro del chicco di 1,8 mm o maggiore. Prove con questa macchina sul seme di quinoa sono state soddisfacenti. È stato possibile lavorare circa 0,5 t/h (Mujica S., et al., 2001) con i seguenti risultati:

- Seme di prima 75-80%
- Seme commerciale 15 -20%
- Impurità e perdite 5%

In questo caso la percentuale di estrazione della granella di prima dipende da diversi fattori quali la qualità della quinoa, la varietà, il grado di contaminazione con altre impurità.

7.3 Rimozione delle saponine

La presenza dei fattori anti-nutrizionali è un fattore molto importante per il consumo della quinoa. I più rilevanti sono le saponine e l'acido fitico. Altri composti sono tannini e inibitori della tripsina.

Le saponine danno un sapore amaro al prodotto impedendone, di fatto, il consumo diretto.

Il livello massimo accettabile di saponina nella quinoa per il consumo umano varia tra lo 0,06 e lo 0,12% (Mujica et al., 2001). Ciò è coerente con i risultati dei test sensoriali condotti presso l'Università di Ambato, Ecuador, dove è stato stabilito che l'accettazione del contenuto massimo di saponina nel seme cotto è dello 0,1%. Lo svantaggio di rimuovere le saponine dai semi di quinoa è stato ampiamente superato con l'uso della cosiddetta "quinoa dolce", cioè da quelle cultivar che presentano caratteristiche con contenuti di saponina minimi e che, di conseguenza, necessitano per il consumo solo di una pulizia o scarificazione dei semi. Le varietà selezionate con la caratteristica di avere poca saponina sono la Sajama in Bolivia, Junín de Blanca in Perù e la Tunkahuán in Ecuador. La desaponificazione agroalimentare risulta essere ancora la possibilità più conveniente, per i seguenti fattori:

- Le saponine sono fattori di protezione della pianta e del seme di quinoa.
- È molto difficile da mantenere la purezza varietale di tipologie selezionate con basso contenuto di saponina.
- I danni causati dagli uccelli sono maggiori nei campi coltivati con varietà a basso contenuto di saponina.
- Apparentemente le varietà con bassi quantitativi di saponina sono più colpite da insetti e malattie, con conseguente utilizzo di fitofarmaci per prevenire tali problematiche.

Le procedure per l'eliminazione delle saponine dalla quinoa nell'industria agroalimentare sono:

7.3.1 Desaponificazione tradizionale

Nella maggior parte dei settori di produzione tradizionale di quinoa nella zona andina, la rimozione della saponina dal seme avviene tramite il lavaggio a mano. Il lavaggio consiste in una serie di risciacqui con acqua e sfregando i semi su una pietra, per rimuovere gli strati superficiali dei semi contenenti la saponina. Questa lavorazione richiede un successivo processo di essiccazione per prevenire la crescita di muffe, batteri e altri microrganismi sul seme bagnato.

7.3.2 Desaponificazione meccanica

Anche noto come metodo a secco, consiste nel sottoporre la granella a un processo di attrito (scarificazione) per eliminare gli strati periferici (in forma di polvere) dal seme. Nella regione

andina, ci sono stati diversi esperimenti di desaponificazione tramite l'adeguamento di macchine originariamente progettate per altri usi, come l'adeguamento degli impianti di trasformazione dei cereali.

Uno degli studi più interessanti in questo campo è la rigeneratrice. In questo caso, la quinoa subisce un processo combinato di abrasione e battitura, tramite delle lame rotanti su schermi fissi, che raccolgono e separano la saponina formata da granelli di polvere. La macchina ha tre cilindri posti a diverse altezze, in modo che i semi in lavorazione vengono spostati da un cilindro all'altro utilizzando la gravità. Ciascun cilindro è composto da 9 a 12 lame raschiatrici poste sull'albero e da alcune palette convogliatrici rotanti. I semi, lasciando l'ultimo cilindro, sono investiti da un flusso di aria che ne consente la separazione dalla polvere prima di essere raccolti all'uscita. Questa macchina scarificatrice ha un'efficienza del 95% e il contenuto di saponina nel prodotto finale è compreso tra lo 0,04 e lo 0,25% a seconda della varietà utilizzata come materia prima (Aroni e Barco, 2006).

Un altro metodo di scarificazione sviluppato sulla quinoa che da risultati soddisfacenti, unisce il calore (pretostatura del seme) con la spazzolatura. Altri metodi di scarificazione tramite spazzolatura sono stati provati in varie industrie e centri di ricerca in Perù e Bolivia. Tuttavia, nessuno degli apparecchi progettati per la scarificazione della quinoa ha prodotto un'eliminazione della saponina a livelli sufficienti da permetterne il consumo umano diretto senza un successivo trattamento del prodotto. Un altro inconveniente del metodo è l'elevato contenuto di proteine e grassi che vengono persi nella polvere ottenuta dopo la scarificazione poiché la maggior parte di queste sostanze sono contenute nell'embrione. Questo trovandosi all'esterno del seme è esposto al processo di scarificazione e quindi danneggiato.

Un altro procedimento provato è tramite una sfogliatrice da sorgo adattata alla quinoa. Il principio di funzionamento di questa macchina è l'attrito del seme contenuto in un cilindro chiuso, all'interno del quale sono collegate cinque pietre abrasive, che ruotando nella stessa direzione creano un movimento circolare che tramite attrito tra le pareti del cilindro e le pietre in movimento compie la scarificazione con risultati accettabili.

La capacità di elaborazione con questo metodo tratta fino a 20 kg/h, i risultati di prestazione sono stati soddisfacenti, soprattutto per le varietà a bassa saponina (Tabella 7.2) (Mujica et al., 2001).

Componente	Imbaya	Cochasqui	Tunkahuán
Saponina iniziale %	1,43	1,18	0,16
Saponina finale %	0,18	0,16	0,01
Tempo scarificazione (minuti)	7	7	4
Carico (kg)	4	4	4
Velocità di rotazione (rpm)	500	500	500

Tabella 7.2 - Risultati della scarificatrice di tre varietà di quinoa, con un prototipo di Peeler per sorgo adattato da INIAP, Ecuador (Mujica et al., 2001).

In Ecuador, è stato progettato e valutato un prototipo specifico per la desaponificazione della quinoa secca. Questa macchina è progettata per un processo a flusso continuo. È costituita da una tramoggia per la granella, un cilindro esterno orizzontale all'interno del quale sono presenti i dispositivi che operano e sono: una coclea, che ruota all'interno della camera di scarificazione e la camera formata da un cilindro perforato esagonale (setaccio). Il diametro delle perforazioni dello schermo dipende dalla granulometria dei semi. La pressione della coclea spinge il seme dalla tramoggia fino all'uscita. La scarificazione avviene durante il passaggio della granella, per attrito tra la coclea e le pareti del setaccio, oltre che per attrito tra i semi. La polvere con la saponina viene aspirata nello spazio tra i due cilindri e intercettata da un collettore e quindi scaricata in un ciclone esterno.

I presupposti del seme per essere scarificato da questa macchina sono le dimensioni, per selezionare la dimensione dello schermo, pulizia accurata da sporco e impurità e presentare un'umidità intorno al 12%.

Nella Tabella 7.3 presentiamo i risultati dei test di rendimento del prototipo, per due varietà di quinoa. Si è concluso che questa macchina lavora la quinoa con un flusso continuo fino a 136 kg/h lasciando nelle varietà dolci circa lo 0,01% saponina senza rotture dei semi. Allo stesso modo, la macchina funziona con una portata di 75 kg/h per le varietà di quinoa amare, lasciando un residuo di saponina intorno a 0,026% con una quantità di semi rotti per schiacciamento intorno all'1,5% (Mujica et al., 2001).

Parametri di funzionamento	Varietà amara	Varietà dolce
% iniziale di Saponina	0,97	0,088
% finale di Saponina	0,026	0,01
% di rottura del seme	1,5	0
% di umidità iniziale	13,3	12,2
% di umidità finale	9,5	10,7
Portata di massa Kg/h	75	136
Temperatura di uscita °C	72	58
Energia necessaria A.	15 - 20	15 - 20
Velocità Rpm	1669	1669

Tabella 7.3 - Condizioni e risultati delle operazioni di flusso continuo con due varietà di quinoa (Mujica et al., 2001).

7.3.2 Desaponificazione tramite lavaggio

È anche noto come metodo umido e consiste nel sottoporre il seme a un processo di immersione e turbolenza dell'acqua circolante o fissa in una vasca di lavaggio. La saponina viene rilasciata nell'acqua di lavaggio. Sono stati sviluppati metodi di desaponificazione tramite agitazione e turbolenza, tutti con risultati incoraggianti. Uno dei metodi migliori sviluppati è costituito da un serbatoio verticale, dotato di lame rotanti per dare turbolenza all'acqua (Aroni e Barco, 2006). Il seme è sottoposto a un ammollo iniziale, che dura da 5 a 8 minuti, a seconda del contenuto di saponina, una turbolenza, che dura da 5 a 15 minuti, sempre a seconda del contenuto di saponina rimanente e da un risciacquo finale, che dura da 5 a 8 minuti. Dopo di che, i semi sono sottoposti a un processo di essiccazione. Questo processo avviene in vaschette mobili poste all'interno di un essiccatore a tunnel. L'essiccazione dura da 4 a 5 ore ed è il processo più lungo e costoso. La qualità del prodotto finale ottenuto con questo sistema è soddisfacente e i prodotti ottenuti sono stati ben accettati dai mercati.

Altre ricerche hanno testato un processo di desaponificazione a diverse temperature. Il lavaggio con acqua a 50°C, può ridurre il contenuto di saponina fino al 25% del contenuto iniziale, mentre con lavaggi a 70 e 80°C, la saponina residua non è più rilevabile.

Dai vari studi sui trattamenti di desaponificazione è stato rilevato che:

- I migliori risultati di desaponificazione sono dovuti a un effetto di abrasione meccanica ad alta velocità sulla superficie del seme, di conseguenza, la prima parte del processo deve essere eseguita a secco.
- Tempo di trattamento prolungato con l'acqua non migliora le prestazioni di estrazione della saponina tuttavia, aumenta l'idratazione del seme, rendendo difficile o costoso il processo di essiccazione.

- Il lavaggio è migliore quando avviene con turbolenze dell'acqua e con tempi di immersione brevi.

È stato sviluppato un metodo di lavaggio, utilizzando un frullatore industriale. Il principio di funzionamento di questa macchina è l'agitazione che produce turbolenza tramite tre lame in fibra di vetro, per evitare rotture del grano. L'attrito dei semi all'interno del mixer è completato con delle resistenze verticali, poste sulle pareti del miscelatore. L'acqua entra in pressione attraverso il lato inferiore del serbatoio di agitazione ed esce attraverso la parte superiore con la saponina. I semi sono trattenuti nel serbatoio da un setaccio a maglia (1 mm di diametro). Il metodo presenta i seguenti svantaggi:

- Un consumo eccessivo di acqua (si lavora con circolazione di acqua) che viene cambiata più volte durante la lavorazione.
- Trattamento dell'acqua per evitare la contaminazione con l'acqua di lavaggio. La saponina, anche se è un composto organico, è tossica per animali a sangue freddo (pesci).
- Necessità di un sistema di efficiente asciugatura, per evitare la germinazione dei semi.
- Aumenta il costo del trattamento con la necessità di essiccazione.

Parametro	Miscelatore 3450 rpm	Miscelatore 800 rpm	Pulper 600 rpm
Carico (Kg)	6	6	2
Tempo di lavaggio (minuti)	4	4	4
Assorbimento di acqua (%)	19,21	29,23	25,49
Danni meccanici al grano (%)	0,96	1,11	8,89
Saponina rimossa (%)	2,65	3,62	3,39
Perdita di proteine (%)	1,21	1,33	1,28
Resa (Kg/h)	30,0	26,7	10,4

Tabella 7.4 - I risultati della desaponificazione del seme di quinoa da parte di diversi metodi di lavaggio (Mujica S., et al., 2001).

7.3.3 Desaponificazione combinata

Considerando gli inconvenienti della desaponificazione con il metodo umido e tenendo conto che il metodo a secco non è efficiente per le varietà con elevati livelli di saponina, è possibile l'applicazione di entrambi i metodi per eliminare la saponina dai semi. Viene eseguita una prima scarificazione, eliminando così una buona parte di saponina e i semi vengono poi sottoposti a lavaggio per rimuovere il residuo di saponina, in modo da non avere un'eccessiva esposizione all'umidità e avere un processo di essiccazione molto più veloce ed economico. I vantaggi del processo combinato sono il risparmio idrico, buona qualità proteica dei semi trasformati, minor consumo di energia per la lavorazione e quindi costi più bassi.

7.4 Stoccaggio

La conservazione è una componente importante nel processo di post-raccolta e per la quinoa è più importante nel caso della conservazione dei semi. È inutile aver effettuato un buon processo di pulizia, cernita e rimozione delle impurità se lo stoccaggio non viene fatto in maniera ottimale.

Tradizionalmente i semi sono conservati in contenitori aperti di metallo, argilla o plastica, anche se sono molto comuni i contenitori di stoccaggio in tessuto o in polietilene (Mujica et al., 2001). I principali problemi con questi tipi di conservazione sono le contaminazioni da polvere, attacchi di

roditori o di insetti, come le falene del grano. Queste falene, nel caso della quinoa, appartengono a una famiglia di micro lepidotteri: *Pachyzancla bipunctalis fabricius*.

Se il seme deve essere conservato per un breve periodo, è sufficiente conservarlo in contenitori chiusi a temperature inferiori ai 10°C e a basso contenuto di umidità, mentre se la conservazione è a medio-lungo termine (anche più di due anni) è meglio conservarli in contenitori sigillati ermeticamente e conservati in frigorifero (0°C o meno). In quest'ultimo caso, i migliori risultati sono stati ottenuti con l'uso di sacchetti in alluminio-polietilene, superando così il problema di umidità ambientale del vano refrigerato. I semi conservati a lungo termine dovrebbero essere essiccati con un'umidità non superiore all'8%, per garantire un minimo di attività fisiologica e garantirne la conservazione. Nel caso di granella commerciale, questa deve essere conservata in contenitori chiusi o alla rinfusa ma mantenuti in un ambiente ventilato, asciutto e protetto da insetti e roditori. Se si tratta di grandi volumi, in particolare nel caso di granella destinata alla trasformazione in prodotti alimentari per il consumo umano, il miglior stoccaggio avviene nei silos. I silos possono essere in metallo o in cemento e la granella, prima di essere immagazzinata nel silo, deve essere asciutta (10-13% di umidità) e priva di impurità.

7.5 Imballaggio e presentazione

Questo è certamente il fattore più influente nella preferenza della domanda dei consumatori. Nel caso della quinoa, nella regione andina, non viene eseguito il confezionamento del prodotto e non viene migliorata la sua presentazione. Sono comuni i centri di vendita al dettaglio che offrono la quinoa alla rinfusa, anche nei casi di prodotti trasformati, dando idea di scarsa igiene che scoraggia i consumatori all'acquisto.

Tuttavia, negli ultimi anni, per iniziativa di imprese private, alcuni prodotti sono offerti sul mercato in confezioni e con presentazioni eleganti che attirano l'interesse del cliente. I materiali più appropriati per il confezionamento della quinoa per la vendita all'ingrosso possono essere: sacchi di carta o di stoffa mentre per la vendita al dettaglio, sacchetti di carta, cellophane, confezioni di latta o di imballaggi combinati (cartone e cellophane). I sacchetti o contenitori di polietilene, anche se apparentemente più versatili, non sono i più consigliati per la vendita al dettaglio, perché difficili da riciclare nei rifiuti domestici.

8. Farina

La farina è la polvere ottenuta dalla molitura dei semi, in genere dei cereali. Nell'industria alimentare la farina è utilizzata per diversi tipi di prodotti da forno quali pane, pasta, biscotti...

La farina di quinoa è il risultato del processo in cui la quinoa desaponificata viene macinata e quindi sottoposta a una ventilazione per ottenere un elevato livello di polverizzazione e ottenerne una buona qualità. La farina di quinoa è normalmente di aspetto bianco perlaceo, tuttavia, se il seme della quinoa è sottoposto a lavaggio ed essiccazione, può presentare un colore scuro dovuto a reazioni di ossidazione.

Per la molitura viene usato un mulino di tipo Bravender semi-industriale con dei rulli dentati. Le variabili di molitura sono il numero di rulli, il tipo di maglia e l'umidità. L'umidità ideale è attorno al 14%, per facilitare l'eliminazione della crusca prima del passaggio attraverso il secondo rullo. In questo modo si ottiene un tipo di farina 000, con una resa di farina del 60% (Aroni e Barco, 2006). Vari riferimenti indicano che tutta la farina di quinoa viene impiegata per la produzione di prodotti nel settore della panificazione, nella produzione di paste alimentari e nella pasticceria.

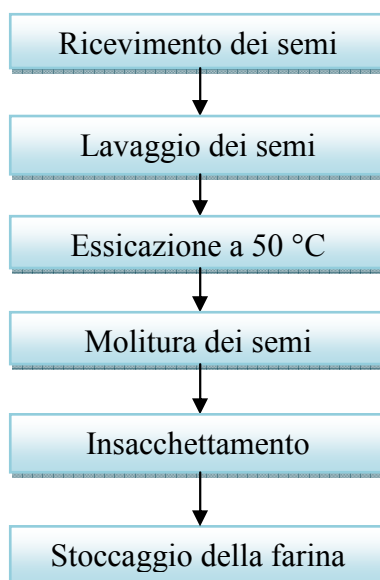


Figura 7.3 Diagramma di flusso della produzione di farina di quinoa (Aroni e Barco, 2006).

Descrizione

- Ricevimento dei semi: vengono ricevuti e conservati in un luogo fresco e asciutto fino al momento della lavorazione.
- Lavaggio dei semi: serve per rimuovere la saponina. È utilizzato il metodo combinato ed il lavaggio termina quando nell'acqua non è più presente schiuma.
- Essiccazione dei semi: I semi sono posti in vassoi di metallo o vassoi in maglia metallica e posti in stufa ad aria forzata con una temperatura di 50 °C per un periodo di circa 3 ore fino al raggiungimento di un'umidità del 14%.
- Molitura dei semi: Dopo l'essiccazione, i semi vengono rimossi dal forno e collocati in un contenitore in cui è previsto il raffreddamento per poi passare al mulino. Il mulino utilizzato per ottenere la farina è un modello misto martello/coltello.
- Insacchettamento e stoccaggio: la farina di quinoa viene confezionata in sacchi di carta e collocata in un luogo fresco, asciutto per un uso successivo.

8.1 Molitura

Per stabilire la resa molitoria si deve considerare una standardizzazione così da ottenere farina di quinoa per i diversi usi. Per determinare questi standard è stato utilizzato un parametro di rettifica industriale in mulino a scaglie di laminazione, facendo un confronto tra i rendimenti di farina per ottenere i risultati come riportato nella tabella sottostante:

Tipo di molitura	% crusca	%farina
Farina da mulino artigianale	59	41
farina da mulino industriale	20	80

Tabella 8.1 Standardizzazione della molitura della quinoa (Aroni e Barco, 2006).

Si sono riscontrate anche variazioni considerevoli di resa in farina a seconda delle varietà di quinoa con rendimenti che variano dal 51 al 60%.

Le principali farine ottenute sono la farina industriale tipo 000 e la farina di quinoa tipo 0000.

La farina di quinoa tipo 000 è un tipo di farina macinata in un mulino industriale di tipo Bravender provvisto di un rullo dentato Tyler da 100 mesh. Con questo tipo di farina è possibile produrre pasta e pane. Per preparare i prodotti a base di quinoa, le miscele prevedono solo il 30% di farina di quinoa e 70% di farina di mais, separando la crusca, che contiene tracce di saponina.

La farina industriale tipo 0000 si ottiene industrialmente sempre tramite il mulino di tipo Bravender dotato di maglia Tyler da 200 mesh, con l'endosperma completamente disintegrato. La farina di quinoa 0000 è un prodotto specifico per dolci, pasticceria fine, porridge e farine premix. Le premix sono quelle farine in cui è incorporato l'agente lievitante.

9. La pasta

La pasta o pasta alimentare è un alimento a base di [semola](#) o [farina](#) di diversa origine diviso in piccole forme regolari destinate a una cottura con calore umido.

La pasta prodotta con grano è una pratica antica conosciuta sia nei paesi dove questo si coltiva sia in quelli dove viene importato.

Nella pasta tradizionale la farina più utilizzata è quella di grano duro. È un cereale non adatto alla panificazione a causa della bassa estensibilità e dell'alta tenacità della massa ma è l'ideale per la produzione della pasta. Questa farina deve avere un alto contenuto proteico per raggiungere i requisiti sopra menzionati.

La qualità della pasta secca, a differenza di ciò che è talvolta credenza popolare, è più nutriente della pasta fresca. La differenza consiste nel fatto che la prima è realizzata esclusivamente con grano duro, diversamente dalla pasta fresca, che è prodotta con la farina di grano tenero. Inoltre, la pasta secca è arricchita con vitamine e minerali, e in alcune tipologie di produzioni, sono incorporate uova o spinaci. La pastificazione viene fatta con una lavorazione in modo continuo e automatico 24 ore al giorno. Consiste in un silos di alimentazione della semola, una pressa a tunnel di essiccazione sotto vuoto e un silos di stabilizzazione e riposo. Il silos di alimentazione fornisce la semola a un miscelatore, dove si aggiunge l'acqua e si procede all'impasto. In una camera sotto vuoto la pasta viene compressa ed estrusa attraverso uno stampo che ne conferisce la forma voluta. In seguito la pasta passa automaticamente in un tunnel di essiccazione, dove in un periodo che va dalle 5 alle 24 ore e a seconda delle dimensioni e delle caratteristiche, avviene l'essiccamento; partendo da un'umidità iniziale di 28-30%, gradualmente si arriva a un'umidità del 12-12,5%, che sarà l'umidità finale della pasta prodotta. Questo processo è una successione di essiccazione e di riposo, passando per zone ad alte e basse temperature. La pasta poi viene raffreddata e stabilizzata in silos di riposo; infine confezionata in film sigillabili o cartone. Durante la cottura, la qualità più importante della pasta prodotta con grano duro è la sua resistenza alla cottura cioè la caratteristica di mantenere la sua consistenza e le sue forme senza attaccarsi tra loro e senza rompersi.

9.1 Preparazione della pasta



Figura 9.1 Diagramma di flusso della produzione della pasta per paste cilindriche e piatte (Diàz, 2006)

Descrizione

- Aggiunta degli ingredienti: la farina viene aggiunta l'acqua ed eventualmente un altro ingrediente.
- Impasto: Formazione della massa tramite l'incorporazione degli ingredienti. Impastare fino a ottenere un impasto compatto e omogeneo, che non si attacca alle dita e non si rompe. La massa è messa in un forno alla temperatura indicata per migliorare le sue proprietà viscoelastiche.
- Laminazione: viene utilizzata per la produzione della sfoglia ottenuta mediante un processo di riduzione lenta e graduale dell'impasto (paste piatte tipo fettuccine).
- Trafilatura: diversamente dalla laminazione viene data direttamente la forma desiderata alla pasta (paste cilindriche tipo maccheroni, fusilli...).
- Formazione di pasta: la sfoglia per le paste piatte o le paste cilindriche vengono tagliate a seconda dei vari formati di pasta.
- Shock termico ed essiccazione: La pasta viene trattata con vapore per 3 minuti, producendo uno shock termico che migliora la resistenza e mantiene la forma. La pasta viene poi posta in un forno a 37 °C ad aria forzata per ottenere paste con il 12% di umidità.
- Conservazione della pasta secca: la pasta viene prelevata dal forno, lasciata a raffreddare e confezionata.

I difetti più frequenti della pasta secca nella trasformazione industriale sono:

- *scropolatura della pasta*: a causa di una disidratazione improvvisa in un breve periodo di tempo ed è caratterizzata dalla presenza di fessure interne nella pasta secca.
- *contaminazione da funghi, acari e tarne*: causata da umidità residua superiore al 12%. L'uscita lenta dell'acqua nella fase preliminare comporta inoltre un aumento dell'inquinamento e dell'acidità.
- *intensità del colore*: il colore dipende in parte dalla quantità di bolle d'aria presenti. Aumentando la pressione sulla massa diminuisce il numero delle bolle, ma aumentano in dimensione e quindi la trasmissione di luce attraverso essa, diminuendo l'intensità del colore giallo.
- *formazione di macchie bianche*: avviene all'interno della pasta, dopo un'essiccazione brusca o per un periodo di riposo troppo breve, impedendo così all'umidità di distribuirsi uniformemente nella massa.
- *Grumi*: causato da una cattiva distribuzione della pasta durante l'essiccazione.

9.2 Pasta di quinoa

Quando si sceglie un prodotto, i consumatori sono sempre più esigenti nel chiedere alimenti sani e ricchi di elementi nutritivi che forniscano una dieta equilibrata.

Oggi sul mercato c'è una buona presenza di questa tipologia di prodotti e la produzione nel mondo sta aumentando sensibilmente. Ad esempio si stanno diffondendo sempre più le paste realizzate con vari tipi di farine, come le paste preparate con farine di riso, mais o miscele di queste farine per ottenere una migliore qualità nutrizionale.

Anche la pasta a base di quinoa sta diventando una possibilità molto promettente nel settore alimentare (Mujica et al., 2006).

Per la produzione di questa pasta, la miscela ottimale è rappresentata dal 20% di farina di quinoa e 80% di farina di frumento, che contiene circa un 15% di proteine con un'efficienza proteica (PER) di 1,5, cioè è un prodotto di buona qualità (Quispe, 2003).

La farina di frumento, alla base di questa miscela, contiene glutine, rendendo questa pasta inadatta al consumo per le persone celiache.

A questo proposito il dipartimento di scienze degli alimenti dell'università del Cile, ha realizzato uno studio finalizzato a sviluppare paste secche a base di farina di quinoa con l'obiettivo di inserirle nel mercato.

Diaz (2006) ha valutato le variabili che influenzano e condizionano l'ottenimento di una buona pasta e verificato se la farina di quinoa è adatta per la preparazione di questo prodotto.

È stata determinata inoltre la quantità ideale di farina di quinoa utilizzabile nella pasta, e verificato se è invece necessario utilizzarla in miscela con altre farine stabilendone i relativi rapporti, al fine di ottenere un prodotto che soddisfi le richieste e le esigenze del consumatore.

È di fondamentale importanza stabilire l'esatto tasso di umidità dell'impasto perché ne determina l'elasticità e ne influenza il tempo di essiccazione, parametri indispensabili per ottenere un prodotto di alta qualità, anche la temperatura svolge un ruolo importante nella preparazione della pasta, poiché oltre a partecipare alla realizzazione di un impasto elastico in combinazione con gli elementi su scritti, è determinante per ottenere una pasta resistente alla cottura e che sia accettata dal consumatore finale.

Tutti i suddetti parametri influenzano enormemente le proprietà reologiche come la resistenza alla trazione, il modulo di Young e la lavorazione della pasta.

9.3 Comportamento reologico degli impasti

La viscosità, l'elasticità e la resistenza alla trazione sono caratteristiche importanti del comportamento degli impasti. Le proprietà reologiche sono particolarmente importanti per molte ragioni. Con l'aumento delle industrie meccanizzate e automatiche, le proprietà degli impasti sono molto importanti dal punto di vista meccanico e tecnico. Lo studio delle proprietà fisiche dell'impasto contribuisce a determinarne il processo di produzione. La forza della pasta è un criterio di qualità molto importante che può influenzare la trasformazione, il confezionamento, lo stoccaggio, la manipolazione e la reazione del consumatore. Per valutare queste proprietà sono state sviluppate varie tecniche strumentali, come le prove a base di torsione e tensione. Queste tecniche sono efficaci per determinare le proprietà fisiche fondamentali.

È inoltre importante studiare le proprietà viscoelastiche e funzionali tramite processi termici e di identificazione delle proteine. Transizioni di fase possono causare cambiamenti nelle proprietà fisiche degli alimenti, la conoscenza delle temperature di transizione vetrosa e le proprietà viscoelastiche sono importanti nel controllo dei processi di preparazione, stoccaggio e movimentazione degli alimenti, e per prevedere le proprietà del prodotto, la qualità risultante e la stabilità degli alimenti.

La forza della pasta può essere determinata dalle sue proprietà reologiche, ed è importante analizzarle nella pasta finita. Per questo scopo viene applicato il modulo di Young, applicandolo su pasta di varie forme e con composizioni differenti di impasto. I valori del modulo di Young determinati su fettuccine di pasta secca, vanno da $0,27 \times 10^{10}$ a $0,30 \times 10^{10}$ [N/m²] (Diaz, 2006). È stato osservato che la temperatura ha determinato dei cambiamenti nella struttura e composizione, che ne hanno modificato leggermente i valori. Anche l'umidità influenza questi valori; con una maggiore umidità infatti, sono minori i valori del modulo di Young.

Poiché il modulo di Young corrisponde alla media tra la forza applicata a un materiale e la deformazione di quest'ultimo, ed essendo una misura della rigidità del materiale può essere previsto che a bassi valori ottenuti, l'elasticità della pasta sarà migliore, quindi se otteniamo valori prossimi o superiori a quelli riportati in precedenza, si troveranno risultati desiderabili e accettabili per lo studio della pasta.

9.4 Impasti

Nella prima parte dello studio sulla reologia della pasta (Diaz, 2006), è stato necessario eseguire un test per determinare gli ingredienti della miscela.

Per questo sono state testate per la produzione di pasta le seguenti miscele con acqua:

- Farina di Quinoa
- Farina di quinoa con fecola di patate
- Farina di quinoa con farina di riso
- Farina di quinoa con farina di riso e fecola di patate.

Le paste sono sviluppate con queste quattro diverse miscele in proporzioni diverse fino a ottenere una pasta che è essiccata a 37 °C per un periodo di 3 ore e immagazzinata prima della cottura.

Al momento della cottura è meglio valutare come ottima quella che, una volta cotta, mantiene meglio la sua forma e presenta più sapore di quinoa.

I risultati ottenuti impastando con acqua la farina sono stati i seguenti:

- Farina di quinoa: avviene la formazione dell'impasto, ma durante la laminazione si sono formate delle screpolature per cui non è stato possibile formare la sfoglia.
- Farina di quinoa con fecola di patate: avviene la formazione dell'impasto quando si usa un 60% di fecola di patate e 40% di farina di quinoa. A cottura ultimata presenta poco gusto e profumo di quinoa, intesa come una caratteristica negativa, perché si cerca di ottenere un prodotto con una chiara presenza di questi parametri nel prodotto finale.
- Farina di quinoa con farina di riso: avviene la formazione dell'impasto con una percentuale del 50% di farina di riso e 50% di farina di quinoa. Presenta maggior gusto e maggior profumo di quinoa, caratteristiche accettabili per il prodotto finito.
- Farina di quinoa con farina di riso e fecola di patate: avviene la formazione dell'impasto, con una proporzione del 27% di fecola di patate, 27% di farina di riso e 46% di farina di quinoa. Presenta poco profumo e poco gusto di quinoa e anche in questo caso sono una caratteristica negativa, poiché si cerca di ottenere una chiara presenza di questi parametri nel prodotto finale.

L'impasto ottenuto con farina di quinoa, farina di riso e acqua, è quello con le caratteristiche fisiche e organolettiche migliori utilizzando inoltre l'uso maggiori quantità di farina di quinoa nella pasta.

Dopo la selezione della miscela degli ingredienti è stato necessario studiare le proprietà reologiche della pasta (prove di resistenza) e al termine di queste, il campione che presenta le migliori caratteristiche è stato sottoposto a una valutazione sensoriale.

9.5 Prove di resistenza

Le prove di resistenza sono state eseguite utilizzando il modulo di Young, che serve per valutarne l'elasticità, cioè una grandezza caratteristica di un materiale che esprime il rapporto tra tensione e deformazione nel caso di condizioni di carico monoassiale e in caso di comportamento del materiale di tipo "elastico". Lo studio è stato condotto confrontando la pasta tradizionale di grano duro con la pasta costituita da diverse quantità di farina di quinoa e di acqua.

Diaz (2006) ha prima determinato le prove di resistenza meccanica sull'impasto e in seguito quelle sulla pasta finita. La resistenza meccanica è la proprietà che indica il massimo sforzo cui un generico materiale, sotto forma di campione, è in grado di sopportare prima della rottura. Gli impasti sono stati fatti con diverse percentuali di farina di quinoa nella miscela per stabilire a che

percentuale di farina si hanno i risultati migliori. Le percentuali di farina di quinoa nella miscela prese in esame sono state del 30, 40, 50 e 60%. I parametri valutati sono la forza massima, la forza elastica massima, la percentuale di massima deformazione, e infine il modulo di Young. Per ciascun impasto sono stati trovati dei valori diversi per le varie combinazioni di temperatura e acqua nell'impasto. Gli impasti con il 50% di farina di quinoa hanno presentato i valori dei parametri più elevati.

Poi si è passati ad analizzare la pasta finita. La pasta a base di quinoa per lo studio viene lavorata sottoforma di fettuccine, cotta e confrontata con la pasta tradizionale preparata con semola di grano duro nelle medesime condizioni cioè sotto forma di fettuccine e cotta. Per eseguire i test di resistenza meccanica sulla pasta sono stati presi in considerazione i campioni che hanno presentato i risultati migliori nelle prove di resistenza degli impasti per ciascuna percentuale di farina. I campioni analizzati in questa fase corrispondono agli impasti che hanno mostrato la migliore resistenza alla trazione. I risultati sono stati confrontati con la pasta tradizionale.

Per la pasta i parametri valutati sono la forza massima applicata alla trazione, la forza massima applicata all'estensione, la forza massima applicata alla deformazione e il modulo di Young.

La pasta che ha presentato i risultati più simili a quella tradizionale per la forza massima alla trazione, estensione e per il modulo di Young è stata quella con il 60% di farina di quinoa nella miscela, mentre per la deformazione il valore più vicino è stato quello della miscela con 50% di farina di quinoa.

La pasta contenente il 50% di farina di quinoa ha presentato i valori più elevati per tutti i parametri tranne che per il modulo di Young che essendo un rapporto tra la forza e la deformazione è più basso rispetto alle altre miscele e alla pasta tradizionale. Questa miscela al 50% presenta quindi i risultati migliori per lo sviluppo della pasta di quinoa, oltre a dare un buon sapore e aroma di quinoa importante nello sviluppo di prodotti innovativi.

9.6 La valutazione sensoriale

Al termine delle prove di resistenza Diaz (2006) ha condotto un test sull'accettabilità presso i consumatori, determinata tramite una valutazione statistica effettuata sul prodotto in questione, in questo caso, la pasta fatta con farina di quinoa.

Il test è stato sviluppato per la pasta che ha mostrato una migliore resistenza elastica, cioè, sulla base di pasta con il 50% di farina di quinoa e il 50% di farina di riso.

L'analisi sensoriale è l'insieme delle metodiche con le quali si riesce ad analizzare il "percepito" di qualsiasi bene attraverso i 5 [sensi](#): vista, udito, olfatto, gusto e tatto.

Ogni giudice ha valutato un campione di pasta. I campioni sono stati preparati solo con sale, in modo da poter valutare meglio l'intensità e la presenza della quinoa nei campioni. Inoltre al momento della valutazione, i campioni erano appena stati cotti e quindi ancora caldi.

La valutazione eseguita da ciascun giudice è stata compiuta per mezzo di una scala edonistica, in cui il numero 1, rappresenta "estremamente sgradevole" e il 9, "estremamente gradevole". La valutazione è stata fatta tramite i descrittori colore, aspetto, aroma, sapore, la consistenza e l'accettabilità generale. I risultati sono stati espressi in grafici delle medie e grafici di percentuale di rifiuto, indifferenza e accettazione di ciascuna delle funzioni.

Il rifiuto viene valutato nel range da 1 "estremamente sgradevole" a 4 "leggermente sgradevole", indifferenza è la valutazione 5, mentre l'accettazione è nell'intervallo tra 6 "leggermente gradevole" e 9 "estremamente gradevole".

La valutazione è stata svolta con 40 utenti, di cui metà erano donne e metà erano uomini.

La fascia di età dei consumatori andava dai 20 ai 27 anni, e non tutti avevano consumato in precedenza prodotti a base di quinoa o avevano conoscenza della presenza di questo prodotto.

I dati ottenuti dall'analisi sono stati sottoposti all'analisi attraverso un foglio di calcolo statistico, conseguendo i seguenti grafici:



Figura 9.2 - Grafico di accettabilità dei consumatori della pasta di quinoa rispetto alle caratteristiche da valutare (Diàz, 2006).

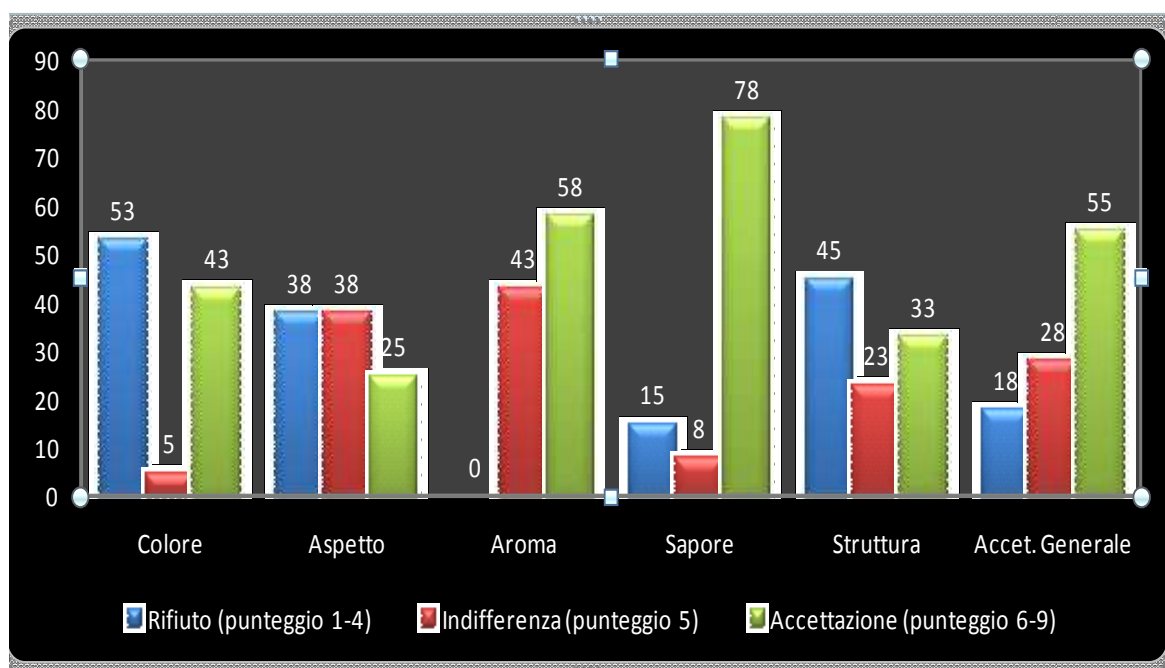


Figura 9.3 - Percentuali di accettabilità, indifferenza e rifiuto dei giudici sui vari parametri valutati della pasta di quinoa (Diàz, 2006).

Dalla figura 9.2 si può notare che il prodotto non è stato ben accettato dai giudici per quanto riguarda colore, aspetto e consistenza, perché il colore della pasta fatta con quinoa è abbastanza scuro in confronto alle normali paste di farina di frumento. L'aspetto non è stato ben apprezzato perché risultava un po' coloso e per quanto riguarda la struttura, è stata riscontrata la presenza di granuli che non sono stati ben accettati durante la valutazione.

Le caratteristiche che hanno ottenuto i risultati migliori sono l'aroma e il sapore, che sono parametri molto importanti per la valutazione. Anche se non tutti i consumatori conoscevano in precedenza la quinoa, ne hanno valutato con favore il sapore e l'aroma presenti nel campione, segnalando che un elevato contenuto di quinoa nel campione permette di riconoscere il prodotto in modo migliore.

Nella figura 9.3 si afferma che c'è stata una maggior accettazione per queste caratteristiche con una bassa percentuale di rifiuto con valori di 0% nel caso di aroma e 15% per il gusto.

C'è comunque una bassa accettazione generale del prodotto (55%). Questa valutazione al ribasso del prodotto è stata determinata dalle caratteristiche sopracitate (colore, aspetto e consistenza) che hanno influenzato negativamente la valutazione finale di accettabilità complessiva da parte dei consumatori.

10. Conclusioni

La quinoa può diventare una coltivazione molto importante per le sue notevoli qualità agronomiche e nutrizionali.

Questa specie, dal punto di vista agronomico, per la sua resistenza al gelo, alla siccità e tolleranza alla salinità, è la più adatta per la coltivazione nelle aree agricole marginali sfruttando terreni poco o per nulla produttivi per i cereali tradizionali, come le alte quote della cordigliera andina fino alle zone agricole marginali dell'Egitto, o comunque aree a bassa piovosità o con condizioni potenzialmente difficili come quelle dell'Italia meridionale. Le sue caratteristiche nutrizionali ne fanno un prodotto molto importante per la nutrizione e la sicurezza alimentare. La quinoa presenta in buone quantità tutti gli amminoacidi essenziali, e può diventare un ottimo sostituto per latte e carne. Questo è un vantaggio sia per i Paesi in via di sviluppo, dove mancano questi prodotti, sia per i Paesi sviluppati come variante alla dieta.

La quinoa non subisce sostanziali trattamenti di raffinazione sia per il consumo dei semi (quinoa perlata) sia come farina, a differenza dei cereali come il riso brillato o la farina di frumento, che perdono buona parte dei loro elementi nutritivi durante la lavorazione.

Un trattamento indispensabile per il suo consumo è la rimozione delle saponine, che sono il fattore antinutrizionale più importante limitando l'assorbimento dei principi nutritivi. Potrebbero essere impiegate, per evitare la desaponificazione, varietà prive o a basso contenuto di saponina. Queste cultivar però sono più sensibili agli attacchi di agenti patogeni, e quindi richiedono un maggior intervento con prodotti fitosanitari che possono portare a residui sul prodotto al momento del consumo.

Un altro vantaggio notevole è l'assenza di glutine, quindi può diventare un'alternativa molto importante per chi presenta allergie o intolleranze nei confronti dei cereali convenzionali, diventando quindi molto interessante per la produzione di prodotti alternativi a quelli tradizionali (pane, pasta, snack...).

Per quanto riguarda la pasta di quinoa, come abbiamo visto dallo studio di Diaz (2006), ci sono buone prospettive per l'inserimento nel mercato di questo prodotto. La pasta con le caratteristiche migliori è stata ottenuta con una miscela di farina di quinoa e farina di riso in parti uguali (50%).

L'acqua, necessaria alla preparazione dell'impasto, deve essere presente in quantità comprese tra il 24 e il 30% poiché valori superiori o inferiori possono portare rispettivamente a perdite di consistenza dell'impasto o a difficoltà nella realizzazione dell'impasto stesso.

Le buone caratteristiche fisiche ottenute da queste paste, molto simili alle paste tradizionali, hanno avuto una scarsa accettabilità al termine dell'analisi sensoriale. Anche se la pasta presenta buon aroma e sapore di quinoa non c'è stata l'accettazione da parte dei giudici per le altre caratteristiche cioè per aspetto, colore e consistenza, che hanno compromesso il risultato finale. Si rende quindi necessario un miglioramento nella preparazione delle paste per migliorare queste caratteristiche di minore accettabilità. Una volta migliorati questi parametri, l'accettabilità complessiva da parte dei consumatori dovrebbe migliorare notevolmente offrendo ai produttori nuove e più ampie possibilità di reddito.

11. Bibliografia

- Accorsi M. (2010) *Risposte morfofunzionali allo stress salino in accessioni cilene di quinoa (Chenopodium quinoa Willd)* Relatore Pistocchi R. Correlatori Biondi S. e Orsini F. dipartimento Scienze per l'ambiente e il territorio, Facoltà di scienze matematiche e fisiche, Università di Bologna.
- Aroni Juan Carlos y Barco Wilson Fundación PROINPA (2006) *Procesos de elaboración y transformación*
<http://es.scribd.com/doc/39904931/Modulo-4-Procesos-de-elaboracion-y-transformacion-R-M>
- Bonifacio Alejandro (2006) *El futuro de los productos andinos en la región alta y los valles centrales de los andes* ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL Subdivisión de Promoción de Inversión y Tecnología
- Casini Paolo (2002) *Possibilità di introdurre la quinoa negli ambienti mediterranei* L'informatore Agrario n°27 pagg. 29-32
- Cornejo, G. (1976). *Hojas de la quinua (Chenopodium quinoa Willd.) fuente de proteína*. En: Convención Internacional de Chenopodiaceas. 2da.Potosí, Bolivia. 26-29 abril. IICA. Serie informes de conferencias, cursos y reuniones. No. 96. Bolivia. pp. 177-180.
- Díaz Carolina Andrea Jara (2006) *Estudio de las propiedades reológicas de la masa para pastas a base de quinoa* Relatore Eduardo Castro Montero, Departamento de Ciencias de los Alimentos y Tecnología Química, Facultad de ciencias químicas y farmacéuticas, Universidad de Chile.
- *Dossier Quinoa*. Erboristeria Domani, Dicembre 1997, Studio Edizioni, Milano, pagg. 42-48. Biodiversità da salvare: l'Amaranto e la Quinoa. L'Erborista, Giugno 2000, Tecniche Nuove, Milano, pagg. 58-59.
- Erdos J. "Quinoa, Mother Grain of the Incas", (1999)
<http://www.planeta.com/planeta/99/1199quinoa.html>
- FAO (2012) <http://www.fao.org/docrep/t0646e/T0646E0f.htm>
- Fernando Salcines Mynaia (2009) *Cadena agroalimentaria de la quinua y la maca peruana y su comercialización en el mercado español*
- Imelda Prego, Sara Maldonado, Marisa Otegu (1998) *Seed Structure and Localization of Reserves in Chenopodium quinoa* *Annals of Botany* 82: 481±488, 1998 Article No. bo980704.
- James Lilian E. Abugoch (2009) *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties*.
- Johnson, D.L. and S.M. Ward. (1993). Quinoa. p. 219-221. In: J. Janick and J.E. Simon (eds.), *New crops*. Wiley, New York.
- Kimble-Evans Amanda, Leventry Bob and Leventry Marjorie, Inca Organics (2003) *Quinoa, lost crop of the Incas, finds new life* Rodale institute
<http://newfarm.rodaleinstitute.org/international/features/0803/quinoa/incaorganics.shtml>

- Koziol, M.J. 1993. *Quinoa: A potential new oil crop*. p. 328-336. In: J. Janick and J.E. Simon (eds.), *New crops*. Wiley, New York
- Mujica Angel, S.Sven-Erik Jacobsen, Juan Izquierdo, Jean Pierre Marathee (2001) *Cultivos andinos. Quinoa, ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro*
<http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro03/home03.htm>
- Mujica Angel, M. Sc. Rene Ortiz, Alejandro Bonifacio, M. Sc. Raul Saravia, Dr. Guillermo Corredor, M. Sc. Arturo Romero (2006) *Informe final proyecto quinua: Cultivo multipropósito para los Países andinos*.
- Nieto, C. y M. Soria. 1991. *Procesamiento de quinua en Ecuador. Proyecto 3P-85-0213*. Informe final de labores. INIAP-UTA-CIID. Quito, Ecuador. 94 p.
- Nieto Carlos e Vimos Carlos (1994) *Producción y Procesamiento de Quinoa en Ecuador* (Informe final de labores) Proyecto de cooperación técnica 3P-90-0160 Programa de Cultivos Andinos, Estación Experimental Santa Catalina, INIAP. Quito, Ecuador
- Oelke E.A., Putnam D.H., Teynor T.M., and Oplinger E.S. (1992) *Quinoa*. Alternative Field Crops Manual, University of Wisconsin Cooperative Extension Service, University of Minnesota Extension Service, Center for Alternative Plant & Animal Products.
- Prego, I., Maldonado, S., and Otegui, M. (1998). *Seed structure and localization of reserves in Chenopodium quinoa*. *Ann. Bot.* **82**, 481–488.
- Purdue Agriculture (2012) http://www.hort.purdue.edu/newcrop/nexus/chenopodium_quinoa
- Qian, J. and Kuhn, M. (1999). *Characterization of Amaranthus cruentus and Chenopodium quinoa starch*. *Starch/Stärke* 51(4), 116–120
- Quispe, P. (1999). *Análisis económico de la Quinoa en Puno, Perú*. Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Económicas. Puno, Perú. 158 p.
- Repo-Carrasco, R. 1992. *Cultivos andinos y la alimentación infantil*. Comisión de Coordinación de tecnología Andina, CCTA, Serie Investigaciones n°1. Lima, Perú.
- Rojas Wilfredo, José Luis Soto and Enrique Carrasco (2004) *Study on the social, environmental and economic impacts of quinoa promotion in Bolivia*.
- Romo Sandra, Aura Rosero, Clara Forero, Edmundo Ceron Ramirez, Deya Amparo Perez (2007) “*Nutritional potencial of quinoa flour (Chenopodium quinoa W) Piartal variety in colombian andes Part two*”.
- Ruales, J. & B. Nair. 1992 . *Quinoa (Chenopodium quinoa Willd) an important Andean food crop*. *Arch. Latinoamer. Nutr.*, 42:232 - 241
- Tapia, M., (1979). *Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe

- Telleria Rios ML, Sgarbieri VC, Amaya J. (1976) *Chemical and biological evaluation of quinoa (Chenopodium quinoa Willd). Effect of the extraction of saponins by heat treatment*
- Vendrame S. (2004) *Quinoa e amaranto Pseudocereali nell'alimentazione umana valutazione nutrizionale e prospettive di diffusione*. Corso di laurea in Scienze e tecnologie alimentari, Università di Milano.

