



Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής
Σχολή Επιστημών Τροφίμων
Τμήμα Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων

Πτυχιακή Εργασία
Τεχνολογία Παραγωγής Σοκολάτας
Thesis
Chocolate Manufacturing Technology



Μαδενλόγλου Ναυσικά 17054
Μαλαπέτσα Ειρήνη 17190
Επιβλέπων Καθηγητής: Παπαδάκης Σπυρίδων

Παπαδάκης Σπυρίδων

Σινάνογλου Βασιλεία

Λουγκοβόης Βλαδήμηρος

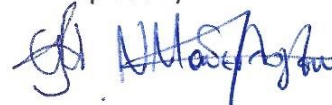
ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Οι κάτωθι υπογράφουσες Μαδενλόγλου Ναυσικά του Ιορδάνη, με αριθμό μητρώου 17054 και Μαλαπέτσα Ειρήνη του Νικολάου, με αριθμό μητρώου 17190 φοιτήτριες του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Επιστήμης Τροφίμων του Τμήματος Επιστήμης και Τεχνολογίας Τροφίμων, δηλώνουμε υπεύθυνα ότι:

«Είμαστε συγγραφείς αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχαμε για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες κάναμε χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνουμε ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από εμάς αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μας, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μας ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μας».

Οι Δηλούσες



Ευχαριστίες

Η παρούσα βιβλιογραφική πτυχιακή εργασία πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του καθηγητή κ. Σπυρίδωνα Παπαδάκη την χρονική περίοδο 2021-2022.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Σπυρίδων Παπαδάκη για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε και την άμεση ανταπόκριση, δεδομένων των δυσμενών συνθηκών της πανδημίας, καθ' όλη τη διάρκεια συγγραφής της εργασίας.

Ευχαριστούμε πολύ τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, την κ. Βασιλεία Σινάνογλου και τον κ. Βλαδήμηρο Λουγκοβόη.

Επίσης, εκφράζουμε τις θερμές μας ευχαριστίες στα οικεία μας πρόσωπα που μας παρέιχαν αμέριστη υποστήριξη και βοήθεια κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη των σταδίων μεταποίησης και επεξεργασίας του κακάο, από μικροβιολογική, βιοχημική, μηχανική, φυσικοχημική και τεχνολογική άποψη, σε όλη την διάρκεια της πορείας του, μέχρι την τελική μορφή της σοκολάτας. Σκοπός της εργασίας είναι η κατανόηση των επιμέρους σταδίων επεξεργασίας και οι αλλαγές που επιφέρει η κάθε διεργασία στο κακάο και κατά συνέπεια στο τελικό προϊόν που είναι η σοκολάτα.

Η σοκολάτα είναι ένα προϊόν που αποτελεί μέρος της ζωής των ανθρώπων εδώ και πάρα πολλά χρόνια. Το κακαόδεντρο καλλιεργείται από την αρχαιότητα στην περιοχή της Κεντρικής Αμερικής, ενώ το κακάο καταναλωνόταν από τους αυτόχθονες λαούς, αλλά όχι στην μορφή που γνωρίζουμε σήμερα. Ωστόσο, πέρασαν αρκετά χρόνια μέχρι το κακάο να εμφανιστεί στην Ευρώπη και να προκαλέσει το ενδιαφέρον των ανθρώπων εκείνης της εποχής. Μέσω της εμπορευματοποίησης του κακάο αλλά και της προσθήκης επιπλέον συστατικών, η σοκολάτα έγινε προσιτή και αγαπητή από όλα τα κοινωνικά στρώματα.

Στη σημερινή εποχή, το κακάο προέρχεται από διάφορες ποικιλίες κακαόδεντρων, σε διάφορες χώρες του Ισημερινού, όπου συγκομίζεται, αφαιρούνται οι κόκκοι από τον καρπό και υπόκεινται στην διαδικασία ζύμωσης. Η διαδικασία της ζύμωσης πραγματοποιείται μέσω διαφόρων μεθόδων, με την επίδραση πολλών μικροοργανισμών που αναπτύσσονται και δημιουργούν τις κατάλληλες συνθήκες, ώστε οι κόκκοι υποστούν ζύμωση και να αποκτήσουν το κατάλληλο χρώμα. Οι κόκκοι, στη συνέχεια, ξηραίνονται και μεταφέρονται στα εργοστάσια παραγωγής για περαιτέρω επεξεργασία. Στο εργοστάσιο γίνεται ο καθαρισμός των κόκκων από ξένα σώματα, το λίχνισμα και το καβούρδισμα κατά το οποίο σχηματίζονται οι πρόδρομες ενώσεις του αρώματος. Ακολουθεί η άλεση των κόκκων με χρήση μηχανημάτων, όπου μειώνεται το μέγεθος των σωματιδίων και προκύπτει ο κακαοπολτός. Έπειτα ο κακαοπολτός εισάγεται σε υδραυλικές πρέσες προκειμένου να διαχωριστεί το βούτυρο κακάο. Αυτό που μένει στις πρέσες μετά την αποβολή του βουτύρου κακάο είναι οι λεγόμενες πρεσαρισμένες «πίτες» κακάο, οι οποίες αλέθονται περαιτέρω δίνοντας τη σκόνη κακάο. Για την παρασκευή της τελικής σοκολάτας γίνεται η ανάμειξη του κακαοπολτού με βούτυρο κακάο και προσθήκη γλυκαντικών υλών ή/και γαλακτοκομικών συστατικών και γαλακτωματοποιητών. Η διεργασία του κονσαρίσματος έχει σαν

στόχο την ανάμιξη των συστατικών, την ενίσχυση της επιθυμητής γεύσης και του χρώματος και την ρύθμιση της υγρασίας. Ακολουθεί η αναδιαμόρφωση του λίπους (tempering) η οποία βοηθά στον σχηματισμό του κατάλληλου κρυσταλλικού δικτύου των λιπιδίων που καθορίζει μια πληθώρα ποιοτικών χαρακτηριστικών της σοκολάτας αλλά και εμποδίζει την ανάπτυξη της «άνθισης» του λίπους (fat blooming). Τέλος, η σοκολάτα υπόκειται σε διάφορες μορφές χύτευσης προκειμένου να λάβει την τελική της μορφοποίηση ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζεται. Σπουδαίο ρόλο παίζουν οι συνθήκες συσκευασίας, αποθήκευσης και διανομής των προϊόντων σοκολάτας ώστε να διασφαλιστεί η διατήρηση των επιθυμητών ποιοτικών χαρακτηριστικών της. Από μικροβιολογική άποψη, η σοκολάτα προσβάλλεται από παθογόνους μικροοργανισμούς και θα πρέπει να διασφαλίζονται απαιτούμενες συνθήκες υγιεινής σε κάθε στάδιο παραγωγής και ειδικά στα κρίσιμα σημεία ελέγχου (CCPs).

Η σοκολάτα είναι ένα προϊόν με ιδιαίτερη και ευαίσθητη γεύση που απαιτεί αρκετά στάδια επεξεργασίας ώστε να φτάσει στα χέρια του καταναλωτή με την επιθυμητή γεύση, όψη, άρωμα και την γνωστή αίσθηση στο στόμα. Η σοκολάτα φέρει πολλές δυνατότητες ως προς την χρήση της καθώς μπορεί να καταναλωθεί αυτούσια, σε στερεή ή και σε υγρή μορφή, μπορεί να υπάρξει σε συνδυασμό και με άλλα προϊόντα (ξηροί καρποί, γάλα, φρούτα κτλ.) και να αποτελέσει μέρος πολλών ζαχαροπλαστικών σκευασμάτων.

Abstract

The aim of the present thesis is to examine the stages of cocoa processing, from a microbiological, biochemical, mechanical, physicochemical, and technological point of view, throughout the whole process, up to the final form of chocolate. The aim of this study is understanding the various stages of processing and the effects of each process on the cocoa and consequently on the final product, which is the chocolate.

Chocolate has been part of people's lives for many, many years. Cocoa trees have been cultivated since ancient times in the Central America and cocoa was consumed by the indigenous population, although not in the form we know today. However, it was several years before cocoa appeared in Europe and aroused the interest of the people of that time. Through the commercialisation of cocoa and the addition of extra ingredients, chocolate became accessible and loved by all social classes.

In modern times, cocoa comes from different varieties of cocoa trees in various countries of the Equator, where it is harvested, the beans are removed from the fruit and subjected to the fermentation process. The fermentation process is carried out by various methods, with the influence of many micro-organisms that grow and create the right conditions for the beans to ferment and acquire the right colour. The grains are then dried and transported to the production plants for further processing. In the factory, the beans are cleaned of foreign matter, winnowed and roasted, during which the precursors of the flavouring are formed. The beans are then milled using machinery, which reduces the particle size and produces cacao paste. The cocoa paste is then introduced into hydraulic presses in order to separate the cocoa butter. What remains in the presses after the cocoa butter has been removed are the so-called pressed cocoa 'pies', which are further ground to give the cocoa powder. The final chocolate is made by mixing the cocoa powder with cocoa butter and adding sweeteners and/or dairy ingredients and emulsifiers. The purpose of the conching process is to mix the ingredients, enhance the desired flavour and colour and adjust the moisture content. This is followed by tempering, which helps to form the appropriate crystalline network of lipids that determines a variety of quality characteristics of the chocolate and prevents the development of fat blooming. Finally, the chocolate is sub-

jected to various molding processes in order to obtain its final shape according to its intended use. The packaging, storage and distribution conditions of the chocolate products play an important role in ensuring that the desired quality characteristics are maintained. From a microbiological point of view, chocolate is affected by pathogenic micro-organisms and the required hygiene conditions must be ensured at every stage of production, especially at critical control points (CCPs).

Chocolate is a product with a special and delicate taste that requires several stages of processing in order to reach the consumer's hands with the desired taste, appearance, aroma and the familiar mouth feel. Chocolate has many potential uses as it can be eaten on its own, in solid or liquid form, combined with other products (nuts, milk, fruit, etc.) and used in many confectionery products.

Πίνακας περιεχομένων

Περίληψη	5
Abstract	7
1. Εισαγωγή.....	12
1.1 Προέλευση κακάο.....	12
1.2 Ποτό των Θεών	13
1.3 Η Σοκολάτα στην Ευρώπη	14
1.4 Η διάδοση της σοκολάτας στην Ελλάδα.....	16
1.5 Τελικό Προϊόν	18
2. Οι κόκκοι του καρπού του κακαόδέντρου	21
2.1 Συγκομιδή, διαλογή και αποφλοίωση	23
2.2 Ζύμωση	26
2.2.1 Διαδοχή μικροοργανισμών	26
2.2.2 Μικροβιακή προέλευση.....	29
2.2.3 Ζύμες.....	30
2.2.4 Βακτήρια του γαλακτικού οξέος (LAB)	31
2.2.5 Βακτήρια οξικού οξέος (AAB - Acetic Acid Bacteria).....	32
2.2.6 Αερόβια σπορογόνα βακτήρια.....	33
2.2.7 Άλλα βακτήρια.....	33
2.2.8 Νηματοειδείς μύκητες.....	34
2.2.9 Μη καλλιεργήσιμοι μικροοργανισμοί.....	36
2.3 Η βιοχημεία της ζύμωσης.....	37
2.4 Μέθοδοι ζύμωσης	39
2.5 Ξήρανση	43
2.6 Αποθήκευση και μεταφορά.....	46
3. Επεξεργασία των ξηρών κόκκων κακάο	48
3.1 Καθαρισμός των κόκκων	48
3.2 Σπάσιμο και λίχνισμα.....	49
3.3 Καβούρδισμα	49
3.3.1 Καβούρδισμα ολόκληρων των κόκκων	50
3.3.2 Καβούρδισμα των κομματιών των κόκκων και του κακαοπολτού.....	51
3.3.3 Βιομηχανικό καβούρδισμα.....	52
3.3.4 Καβούρδισμα και αποφλοίωση: κρίσιμα σημεία ελέγχου	53
3.3.5 Χημικές μεταβολές κατά το καβούρδισμα.....	53
3.4 Άλεση των κόκκων	55
3.4.1 Μύλοι (κρούσης) με ακίδες	57

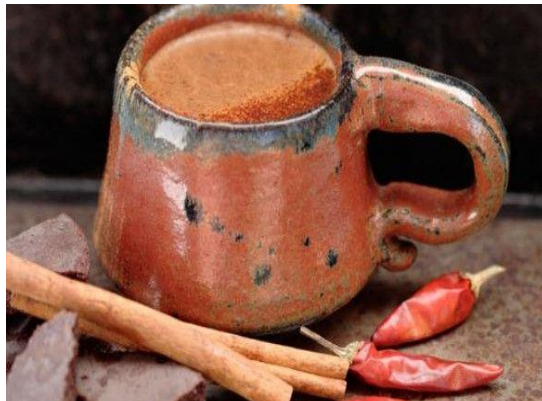
3.4.2 Μύλοι σφαιρών	58
3.4.3 Δισκομύλοι	59
3.5 Συσκευασία και αποθήκευση του κακαοπολλτού (Cocoa paste or liquor)	59
4. Παραγωγή βουτύρου κακάο και σκόνης κακάο	60
4.1 Βούτυρο κακάο	60
4.2 Σκόνη κακάο	63
4.3 Αλκαλοποίηση (Dutching)	65
5. Άλλα συστατικά της σοκολάτας	67
5.1 Γλυκαντικές ουσίες	67
5.1.1 Ζάχαρη και υποκατάστατα ζάχαρης	67
5.1.2 Λακτόζη	68
5.1.3 Γλυκόζη και φρουκτόζη	69
5.1.4 Αλκοολοσάκχαρα (Πολυόλες)	69
5.1.5 Μη θρεπτικές γλυκαντικές ουσίες	71
5.2 Γάλα και άλλα γαλακτοκομικά	73
5.2.1 Λίπος γάλακτος	73
5.2.2 Πρωτεΐνες γάλακτος	74
5.2.3 Σκόνες γάλακτος	74
5.2.4 Σκόνη ορού γάλακτος και λακτόζης	75
5.3 Γαλακτωματοποιητές	76
6. Παραγωγή σοκολάτας	78
6.1 Ραφινάρισμα	79
6.2 Κονσάρωμα	81
6.3 Αναδιαμόρφωση του λίπους (Tempering)	86
6.3.1 Πολυμορφισμός του βουτύρου κακάο	88
6.3.2 Εξοπλισμός αναδιαμόρφωσης του λίπους	92
6.3.3 Αναδιαμόρφωση του λίπους χειρωνακτικά	94
6.3.4 Μέτρηση του βαθμού αναδιαμόρφωσης του λίπους	94
6.4 Μορφοποίηση-Χύτευση	95
6.4.1 Συμπαγείς πλάκες σοκολάτας	95
6.4.2 Επικαλύψεις σοκολάτας	97
6.4.3 Επικαλύψεις αποτελούμενες από σοκολάτα και άλλα συστατικά	99
6.4.4 Μέθοδοι επικάλυψης με σοκολάτα	99
6.5 Στερεοποίηση της σοκολάτας	101
6.6 Συσκευασία, αποθήκευση και διανομή	104
7. Μικροβιολογικοί κίνδυνοι στη σοκολάτα	106
7.1 Σημαντικοί μικροοργανισμοί	106

7.1.1 Παθογόνοι μικροοργανισμοί και ο έλεγχός τους	106
7.1.2 Αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί και ο έλεγχός τους.....	108
7.2 Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη μικροβιολογική ποιότητα της σοκολάτας	109
7.2.1 Κρίσιμα συστατικά	109
7.2.2 Δειγματοληψία κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας	110
7.2.3 Το περιβάλλον επεξεργασίας	110
7.2.4 Τελικό προϊόν	112
8. Συμπεράσματα.....	114
Βιβλιογραφία	116

1. Εισαγωγή

1.1 Προέλευση κακάο

Η προέλευση της σοκολάτας είναι πολύ αρχαία, συνήθως χρονολογείται από τους Μάγια που καλλιέργησαν για πρώτη φορά το φυτό κακάο το 400 μ.Χ. Το γνωστό πια φυτό είναι το αποτέλεσμα υβριδισμού και επιλογής που ξεκίνησε πριν από 35.000 χρόνια. Παρόλα αυτά υπάρχουν διαφορές στον τρόπο κατανάλωσής του συγκριτικά με τώρα, αφού οι αποξηραμένοι κόκκοι κακάο υφίσταντο άλεση και διάλυση σε νερό, ενώ κανέλα και πιπέρι προστίθεντο για να ενισχύσουν τη γεύση, που ήταν δυσάρεστη, πικρή και γεμάτη (βλ. Εικόνα 1). Το ρόφημα αυτό ονομάστηκε xocolatl (βλ. Εικόνα 2).



Εικόνα 1 (αριστερά): Παρασκευή ροφήματος xocolatl από τους Μάγια

(Πηγή: <https://www.nationalgeographic.com/culture/article/chocolate-domestication-cocoa-ecuador/>).

Εικόνα 2 (δεξιά) : Παραδοσιακό ρόφημα xocolatl (Πηγή: <https://veggiedesserts.com/xocolatl-aztec-hot-chocolate/>).

Είναι εμφανές ότι η προτίμηση προς το ρόφημα αφορούσε περισσότερο τις ευεργετικές και αναζωογονητικές του ιδιότητες που ήταν γνωστές μεταξύ των αρχαίων πολιτισμών και λιγότερο τη γεύση του. Όταν οι Αζτέκοι κυριάρχησαν επί των Μάγια το 1200 μ.Χ., ο αυτοκράτορας Μοντεζούμα έδειξε ιδιαίτερη αδυναμία στο ρόφημα του κακάο και κατανάλωνε δεκάδες ποτήρια την ημέρα. Μάλιστα οι ίδιοι οι κόκκοι του κακάο είχαν τόσο μεγάλη αξία που χρησιμοποιούνταν σε οικονομικές συναλλαγές και αποθηκεύονταν σε χρηματοκιβώτια διαθέτοντας την ίδια αξία με τον χρυσό και τους πολύτιμους λίθους. Με βάση αρχαιοθετημένα στοιχεία οι Αζτέκοι αφηγούνταν την άφιξη του θεού Κετζαλκοατλ (Quetzalcoatl) στη Γη με το φως του πρωινού αστεριού ώστε να παραδώσει το κακαόδεντρο στην ανθρωπότητα. Από αυτόν μάλιστα διδάχθηκαν την τεχνική του καβουρδίσματος των κόκκων και την άλεση τους για την παρασκευή μίας ευεργετικής πάστας. Προσθέτοντας διάφορα μπαχαρικά δημιούργησαν το ρόφημα «τσοκολάτλ» ή αλλιώς στην ελληνική

γλώσσα «πικρό νερό» με την πεποίθηση ότι διαθέτει σχεδόν μαγικές ικανότητες και θα τους προσφέρει πνευματική διαύγεια (βλ. Εικόνα 3).



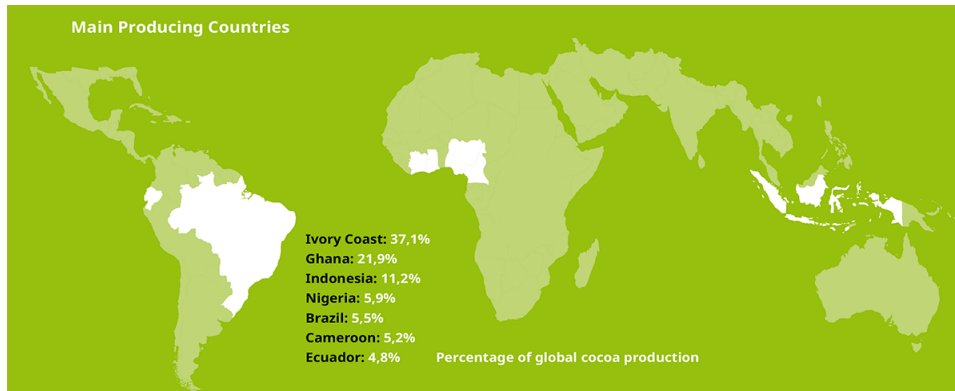
Εικόνα 3: Παρασκευή ροφήματος κακάο από τους Αζτέκους (Πηγή: <https://efisoul63.wordpress.com/2016/03/11/%CE%BF%CE%BC%CE%AC%CE%B3%CE%B9%CE%B1-%CE%BA%CE%B1%CE%B9->

1.2 Ποτό των Θεών

Από μία μυθολογική προσέγγιση, το κακάο οφείλεται στη θυσία μιας πριγκίπισσας των Αζτέκων που προτίμησε να πεθάνει από το να αποκαλύψει τους θησαυρούς του βασιλείου της. Το αίμα της ήταν το μέσο, ώστε να φυτρώσει το φυτό του κακάο που προσέφερε αφροδισιακές και μυστικιστικές ιδιότητες σε πολεμιστές και ιερείς.

Η καλλιέργεια του φυτού τη σημερινή εποχή πραγματοποιείται σε αρκετές χώρες και κυρίως στη Βραζιλία, την Δομινικανή Δημοκρατία, την Ακτή Ελεφαντοστού, το Καμερούν, την Παπούα-Νέα Γουινέα, την Γκάνα, τη Νιγηρία, την Ινδονησία, τον Ισημερινό και σε μικρότερο επίπεδο στη Μαλαισία, κάποια νησιά της Καραϊβικής όπως Γρανάδα και η Κούβα, τη Μαδαγασκάρη, το Μεξικό και νησιά του Ειρηνικού όπως η Σαμόα (βλ. Εικόνα 4). Όταν το 1502 ο Χριστόφορος Κολόμβος κατέφθασε στο νησί Guanaja της Ονδούρας, πραγματοποιήθηκε η πρώτη επαφή του δυτικού πολιτισμού με το κακάο. Του χαρίστηκε ένα φλιτζάνι κακάο αλλά παρόλα αυτά δεν αποχώρησε από το νησί με κόκκους ώστε να τους μοιραστεί στην Ευρώπη. Αυτό το κατάφερε ο Κορτές και έπειτα, μέσω συχνών εμπορικών συναλλαγών με αποικίες της Ισπανίας, το κακάο εισήχθη στην Ευρώπη δυναμικά ως ρόφημα. Σε πρώτη φάση ο Ισπανικός λαός παρασκεύασε το ρόφημα βάσει της αρχικής συνταγής των Αζτέκων με τη προσθήκη μικρής ποσότητας τσίλι και καυτερών μπαχαρικών. Έπειτα πρόσθεσαν ζάχαρη, κανέλα και εκχύλισμα βανίλιας με αποτέλεσμα τη βελτίωση της γλυκύτητας και την επίτευξη ηπιότερης γεύσης. Η τελευταία εκδοχή έγινε ευρέως διαδεδομένη στις περισσότερες Ευρωπαϊκές αυλές και χρησιμοποιούταν κυρίως ως φάρμακο και διεγερτικό.

Το ρόφημα ζεστής σοκολάτας από το 1660 και μετά είχε διαδοθεί σε όλη την Ευρώπη με πρώτες χώρες το Βέλγιο, τη Γερμανία, την Ελβετία, την Αυστρία και την Ιταλία, ενώ το 1662 ο καρδινάλιος Brancaccio ενημέρωσε τους πιστούς ότι η κατανάλωση της ζεστής σοκολάτας δεν αποτελούσε λόγο διακοπής νηστείας, με αποτέλεσμα τη διεύρυνση της εξάπλωσης της σε μοναστήρια και ιερούς ναούς. Το 1753, ο Σουηδός νατουραλιστής Carl von Linné χαρακτήρισε το κακαόδεντρο ως η «Τροφή των Θεών» (*Theobroma cacao*) (Verna , 2013).



Εικόνα 4: Ποσοστά της παγκόσμιας παραγωγής κακάο. (Πηγή: <https://makechocolatefair.org/issues/cocoa-production-nutshell/>)

1.3 Η Σοκολάτα στην Ευρώπη

Στις ευρωπαϊκές χώρες η «λατρεία» της σοκολάτας μεταδόθηκε σχεδόν 100 χρόνια αργότερα, όταν το μυστικό των Ισπανών έγινε γνωστό και η σοκολάτα απέκτησε φήμη. Βέβαια, υπάρχουν πολλοί μύθοι γύρω από την εξάπλωση του ροφήματος της σοκολάτας στις ευρωπαϊκές χώρες. Στην Γαλλία, την συνήθεια της κατανάλωσης ροφήματος σοκολάτας, έφερε η πριγκίπισσα της Ισπανίας Άννα η Αυστριακή, η οποία το 1615 παντρεύτηκε το Λουδοβίκο XIII. Συγκεκριμένα, στο Λονδίνο το 1674 ξεκίνησαν να πωλούνται τα πρώτα γλυκά που περιείχαν σοκολάτα. Τέλος, στην Ιταλία, το ρόφημα σοκολάτας έφτασε χάρη στους εμπόρους, οι οποίοι κατάφεραν να αγοράσουν την μυστική συνταγή του, την περίοδο που αυτοί βρίσκονταν σε επαγγελματικό ταξίδι στην Ισπανία. Από την άλλη, η σοκολάτα φτάνει στην Ιταλία το 1594 από τον Φραντζέσκο Καρλέτι. Ο Γερμανός Γιόχαν Βολκάμερ, πραγματοποιώντας ένα ταξίδι στην Νάπολη το 1640, ανακάλυψε την σοκολάτα, την έφερε πίσω στην Γερμανία όπου οι Γερμανοί την χρησιμοποιούν σαν δυναμωτικό φάρμακο. Ωστόσο στην Αγγλία η σοκολάτα έφτασε κάπως καθυστερημένα το 1657, μέσω των πειρατών, οι οποίοι λήστευαν τα ισπανικά πλοία που μετέφεραν κόκκους. Σε γενικότερα πλαίσια, το ρόφημα σοκολάτας ήταν μια απόλαυση της ελίτ εκείνης της εποχής και ήρθε

πιο κοντά στον απλό λαό μόνο μετά την Βιομηχανική Επανάσταση. Η σοκολάτα γίνεται πολύ γρήγορα ιδιαίτερα δημοφιλής και η μάχη για το μονοπώλιο εντείνεται, κυρίως μεταξύ των Ισπανών και των μεγαλεμπόρων από την Ολλανδία. Ο δήμαρχος της Ζυρίχης, ο Heinrich Escher, ήρθε για πρώτη φορά σε επαφή με την σοκολάτα το 1697 όταν βρισκόταν στις Βρυξέλλες και φεύγοντας την πήρε μαζί του πίσω στην Ζυρίχη. Εκεί η σοκολάτα καταναλωνόταν πολύ διακριτικά και μόνο στις γιορτές που διοργάνωναν οι συντεχνίες, οι οποίες εξουσίαζαν την πόλη. Αυτό συνέβαινε μέχρι το 1722, καθώς τότε το Συμβούλιο της πόλης απαγόρευσε την κατανάλωση σοκολάτας, ως προϊόν ακατάλληλο για ενάρετους πολίτες, καθώς πίστευαν ότι είχε αφροδισιακές ιδιότητες. Έτσι λοιπόν, πέρασαν αρκετές δεκαετίες μέχρι να ξαναέρθουν οι Ελβετοί σε επαφή με την σοκολάτα, πράγμα που έγινε όταν περιπλανώμενοι Ιταλοί φαίνεται πως κατανάλωναν το ποτό «cioccolatieri».

Δύο Ιταλοί, γύρω στο 1750, ιδρύουν το πρώτο εργαστήριο παρασκευής σοκολάτας, σε έναν πρώην μύλο, κοντά την Βέρνη. Παρόλα αυτά, οι κάτοικοι της περιοχής δεν έδειξαν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την σοκολάτα που παρήγαγαν και το εγχείρημά τους δεν ήταν επιτυχές. Μέχρι το τέλος του αιώνα, συγκροτήθηκαν κι άλλα εργοστάσια σοκολάτας στην δυτική Ελβετία, ώσπου το 1792 άνοιξε και το πρώτο μαγαζί πώλησης σοκολάτας στην Ελβετία. Η περαιτέρω εξάπλωση της σοκολάτας έγινε στα τέλη του 16^{ου} αιώνα. Παρόλη την διάδοση της σοκολάτας που έχει ήδη προηγηθεί, η κατανάλωση της σοκολάτας παίρνει μεγαλύτερες διαστάσεις όταν οι Ιταλοί ξεκινούν να την σερβίρουν στα πρώτα καφέ της Φλωρεντίας ως ζεστό ρόφημα με γάλα και μπισκότα, κάτι που αργότερα υιοθετείται από τους Γάλλους, τους Ελβετούς και τους Γερμανούς. Το πρώτο εργοστάσιο σοκολάτας ιδρύθηκε στην Αμερική το 1763 και ακολούθησε το εργοστάσιο σοκολάτας στην Βαρκελώνη το 1780 (Κυριαζής, 2016).

1.4 Η διάδοση της σοκολάτας στην Ελλάδα

Πρώτος εισήγαγε στην Ελλάδα τη σοκολάτα ο Σπυρίδωνας Παυλίδης μέσω του γλυκισματοποιείου που κατείχε και βρισκόταν στη συμβολή των οδών Αιόλου και Βύσσης από το 1841 (βλ. Εικόνα 8). Στις αρχές το κατάστημα πωλούσε παραδοσιακά γλυκά όπως μπακλαβά και λουκούμια ενώ εισήγαγε μέλι, φιστίκια και οινοπνευματώδη ποτά. Το 1852 που παράχθηκε η πρώτη ελληνική σοκολάτα, λόγω της αδυναμίας εισαγωγής κακάο έτοιμο για περαιτέρω επεξεργασία η άλεση των κόκκων πραγματοποιήθηκε με χρήση ενός μύλου καφέ από έναν Πολωνό τεχνίτη που εργαζόταν στο κατάστημα Παυλίδη. Τα επόμενα χρόνια ο Παυλίδης με σκοπό την αύξηση της τεχνογνωσίας του προσωπικού του πραγματοποίησε ταξίδια και έλαβε μέρος σε εκθέσεις αποσπώντας μάλιστα βραβεία για το προϊόν του.



Εικόνα 5: Εργοστάσιο Παυλίδου σήμερα (Πηγή: <https://menshouse.gr/istories/133383/o-anthropos-poy-mas-emathe-ti-einai-sokolata>)



Εικόνα 6: Πρώτο εργοστάσιο Παυλίδου (Πηγή: <https://www.iefimerida.gr/zoi/koyiz-poso-kala-xereis-ti-sokolata-ygeias-paylidi>)

Έπειτα από την ίδρυση της Σοκολατοβιομηχανίας Παυλίδου (βλ. Εικόνα 6) όπως ήταν φυσικό πολλές εταιρείες κινήθηκαν αντιστοίχως στην παραγωγή σοκολάτας και κακάο με πιο γνωστές τη βιομηχανία Ζαβορίτου, Λόγγου και Μουλά, Γαβριήλογλου, την Ίρις, την ΑΒΕΖΑΠ, την ΑΣΤΗΡ, την Άλφα, την ΙΟΝ και την εταιρεία Ατσάρου και Φλόκα. Επιπρόσθετα άλλες βιομηχανίες παραγωγής προϊόντων με χρήση σοκολάτας ή κακάο ήταν η εταιρεία Ρούσσοσ, η ΕΒΓΑ, η Παπαδοπούλου, η ΜΕΛΟ, η ΓΚΛΑΡΙΣ, η ΣΕΡΑΛ και ο Λουμίδης. Όταν το 1912 η Nestle ξεκίνησε τις εισαγωγές κακάο παρατηρήθηκε αύξηση των διαθέσιμων προϊόντων του εμπορίου μέσα σε μόλις λίγα χρόνια. Η πρώτη σοκολάτα όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως που παρήχθη το 1852 είχε αποτελέσει ορόσημο έως το 1859 με το όνομα σοκολάτα «Υγείας». Με βάση διαφημίσεις (βλ. Εικόνα 7) και καταλόγους που έχουν διατηρηθεί φαίνεται ότι προέκυψαν στη πορεία και άλλα διαφορετικά είδη σοκολάτας με τη βιομηχανία Ζαβορίτου να παράγει σοκολάτα γάλακτος και τη Nestle να ακολουθεί τα ίδια ακριβώς βήματα.



Εικόνα 7: Διαφήμιση εταιρείας Παυλίδου (Πηγή: <https://www.mixanitouxronou.gr/tsokolata-pavlidou-i-proti-sokolata-stin-ellada-paraskevastike-os-rofima-sto-glikimatopiion-pavliidi-to-1852-ke-itan-mono-gia-tous-echontes/>)

Το 1920 η βιομηχανία Παυλίδη παρήγαγε την πρώτη σοκολάτα με προσθήκη αμυγδάλου στην Ελλάδα δημιουργώντας μία ακόμη καινοτομία, με την εταιρεία Ίρις να ακολουθεί το 1930 και έπειτα την ΕΒΓΑ και την ΙΟΝ. Υπήρχε μία πληθώρα σκευών για την επεξεργασία, την παρασκευή και την κατανάλωση των παραγώγων σοκολάτας ή κακάο με πιο διάσημα στην αρχή το χουλιάρι, την τερίνα, την μπασίνα και έπειτα την κάσσα του σουφλέ ή σαχάνι, το σκεύος σοκλ, οι κασολέτες από χαρτί και η παγωτιέρα. Έχει καταγραφεί πληθώρα γλυκισμάτων με την προσθήκη σοκολάτας τα οποία παρασκευάζονται στο φούρνο, την κατσαρόλα, το τηγάνι αλλά και χωρίς επίδραση θερμότητας. Τα πιο συνήθη

συστατικά που προστίθενται είναι το γάλα, η ζάχαρη και το βούτυρο, ενώ υπήρχαν και κάποια μεγάλης ιδιαιτερότητας όπως οι γόμες τραγακανθίνης (σαλέπι), το λαρδί, πουρές πατάτας και τα παξιμάδια. Έχοντας υψηλό κόστος η σοκολάτα και το κακάο τα πρώτα χρόνια θεωρούνταν προϊόντα πολυτελείας, όμως η μαζική τους παραγωγή με την πάροδο του χρόνου τα έκανε πιο προσιτά το καταναλωτικό κοινό και μέσω της επίδρασης των διαφημίσεων η σοκολάτα διείσδυσε σε όλα τα νοικοκυριά ενώ η κατανάλωση της αφορούσε όλες τις ηλικιακές ομάδες και κοινωνικές τάξεις (βλ. Εικόνα 9) (Κωνσταντάτου & Καστρινός, 2008).



Εικόνα 8 (αριστερά): Διαφήμιση ζαχαροπλαστείου Παυλίδου στο κέντρο της Αθήνας

(Πηγή:<https://www.mixanitouxronou.gr/tsokolata-pavlidou-i-proti-sokolata-stin-ellada-paraskevastike-os-rofima-sto-glikismatopiion-pavli-di-to-1852-ke-itan-mono-gia-tous-echontes/>)

Εικόνα 9 (δεξιά): Συσκευασία σοκολάτας υγείας το 1861

(Πηγή:<https://www.mixanitouxronou.gr/tsokolata-pavlidou-i-proti-sokolata-stin-ellada-paraskevastike-os-rofima-sto-glikismatopiion-pavli-di-to-1852-ke-itan-mono-gia-tous-echontes/>)

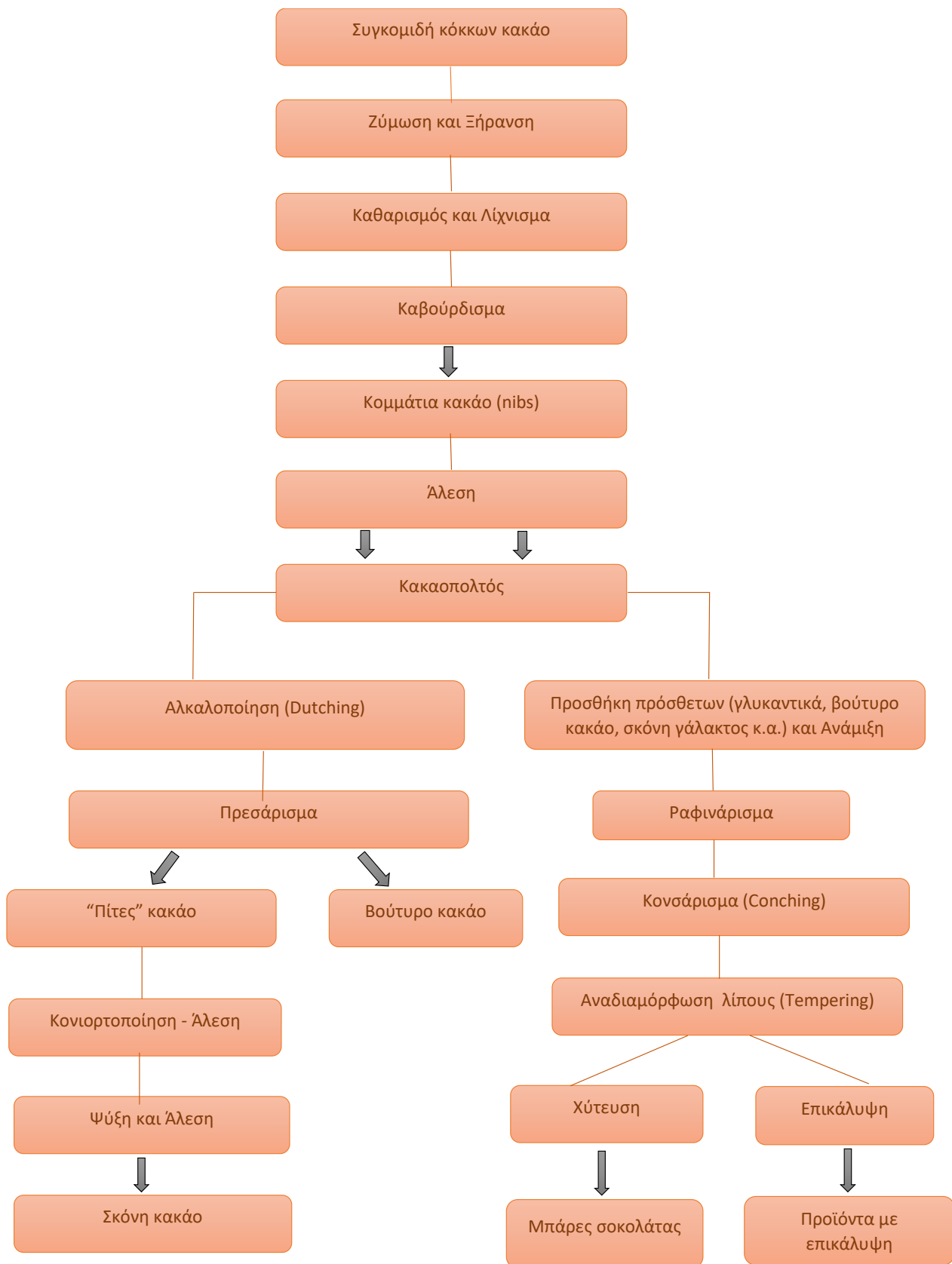
1.5 Τελικό Προϊόν

Το τελικό προϊόν επηρεάζεται από τις γενετικές διαφορές μεταξύ των ποικιλιών κακάο, τα συστατικά που προστίθενται, καθώς και μεθόδους που χρησιμοποιούνται στα διάφορα στάδια της μετασυλλεκτικής επεξεργασίας και της παρασκευής της σοκολάτας. Προκειμένου να παραχθεί σοκολάτα υψηλής ποιότητας κάθε μία από τις παραπάνω παραμέτρους είναι απαραίτητο να ελέγχεται διεξοδικά. Η γεύση αποτελεί μια πολυσύνθετη αίσθηση που συνίσταται από τις οσφρητικές, απτικές και κιναισθητικές αντιλήψεις που καθιστούν τον καταναλωτή ικανό να αναγνωρίσει ένα τρόφιμο και να καθορίσει τον βαθμό αρεσκείας ή δυσαρέσκειας του προϊόντος.

Η γεύση της σοκολάτας, τελικά, αποτελεί συνέπεια των οργανοληπτικών ιδιοτήτων και διαμορφώνεται από ορισμένες παραμέτρους όπως το άρωμα, η γυαλάδα, η ικανότητα θραύσης, η τήξη και η αίσθηση στο στόμα. Είναι δυνατό καθένα από αυτά να με-

ταβληθεί κατά τα στάδια της επεξεργασίας, τα οποία θα πρέπει να διεξάγονται με αυστηρά κριτήρια και ποιοτικούς ελέγχους. Τόσο η επιλεγόμενη ποικιλία κακάο όσο και η ζύμωση αποτελούν δύο από τους κύριους παράγοντες που επιδρούν στην γεύση, το άρωμα και το χρώμα της σοκολάτας. Στην διαδικασία της ζύμωσης οφείλεται ο σχηματισμός των πρόδρομων ουσιών (πτητικές και μη πτητικές) που καθορίζουν την τελική γεύση της σοκολάτας. Έπειτα, κατά τις διεργασίες της ξήρανσης και του καβουρδίσματος, οι ουσίες αυτές μετασχηματίζονται, μέσω χημικών αντιδράσεων, σε ενώσεις που παίζουν καθοριστικό ρόλο στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά του τελικού προϊόντος. Στη συνέχεια, πραγματοποιείται περαιτέρω σειρά διαδικασιών όπως η άλεση, το κονσάρισμα, η αναδιαμόρφωση του λίπους (tempering) και η μορφοποίηση-χύτευση, που είτε θα αναδείξουν είτε θα ελαττώσουν την ένταση των χαρακτηριστικών αυτών.

Το κονσάρισμα συγκεκριμένα, αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά στάδια κατά την παρασκευή της σοκολάτας, μέσω του οποίου καθορίζονται οι δομικές της ιδιότητες, ενώ η αναδιαμόρφωση του λίπους επιδρά στην υφή και στη ρεολογική της σταθερότητα. Όλοι οι προαναφερθέντες παράγοντες θα αναλυθούν εκτενώς στην πορεία (Gutiérrez, 2017) (βλ. Σχήμα)



Σχήμα: Διάγραμμα ροής μετασυλλεκτικής επεξεργασίας για την παραγωγή σοκολάτας και προϊόντων με βάση το κακάο

2. Οι κόκκοι του καρπού του κακαόδεντρου

Για την παραγωγή σοκολάτας υψηλής ποιότητας, οι πρώτοι παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη είναι οι πρώτες ύλες και η προέλευσή τους. Η ποικιλία, το κλίμα και το έδαφος καλλιέργειας του κακαόδεντρου επηρεάζουν την ποιότητα των κόκκων κακάο. Το *Theobroma cacao* απαντάται σε 14.000 γνωστές διαφορετικές ποικιλίες με πιο γνωστές αυτές που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή κακάο που είναι οι Forastero, Criollo, Trinitario και Nacional (βλ. Εικόνα 10)



Εικόνα 10: Ποικιλίες Forastero, Criollo, Trinitario (Πηγή: <https://www.oodaalolly.com/blog/2020/7/15/the-three-main-types-of-cacao>)

Οι πιο σημαντικές διαφορές μεταξύ τους είναι τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των καρπών, η γεωγραφική προέλευση και το γευστικό προφίλ. Το Forastero (*Theobroma cacao* L. ssp. *shaerocarum* Cuat), που προαναφέρθηκε αποτελεί μια ποικιλία ιδιαίτερως παραγωγική με μικρούς και επίπεδους κόκκους ιώδους χρωματισμού που καλλιεργούνται από τους ιστορικούς χρόνους. Διαθέτει υποποικιλίες στη Νότια Αμερική και την Δυτική Αφρική με πιο γνωστή την Amelonado που καλλιεργείται κατά κύριο λόγο στη Δυτική Αφρική, εκτός του Καμερούν με μεγάλη γενετική παραλλακτικότητα. Η ποικιλία Forastero σε γενικές γραμμές είναι αυτή με την πιο έντονη γεύση σοκολάτας και αποτελεί μία κλασική και συνηθισμένη ποιότητα κακάο που πωλείται συνήθως «χύμα» όπως και πολλές άλλες ποικιλίες που όντας «χύμα», αποτελούν πάνω από 90% της παγκόσμιας παραγωγής και η χρήση τους συνίσταται στην παραγωγή κακαοπολτού, σκόνης κακάο, βουτύρου κακάο και σοκολάτας όλων των ειδών (Aprotosoaie, Luca , & Miron, 2016). Συνδυασμός δια-

φόρων ποικιλιών, που αναπτύσσονται σε προστατευμένες ζώνες εντός των τροπικών περιοχών, αποτελεί το εκλεκτό ή αρωματικό κακάο, γνωστό ως κακάο “Criollo” (Gutiérrez, 2017) (βλ. Εικόνα 11). Το κακάο που αποδίδει διαθέτει ξεχωριστό χρώμα και ιδιαίτερη αρωματική γεύση με γήινους τόνους και γεύση τσαγιού, τα οποία συμβάλλουν στη δημιουργία ενός συνδυασμού χαρακτηριστικών ιδιαίτερα περιζήτητου από τις διεθνείς γκουρμέ σοκολατοποιίες και χρησιμοποιείται δε για την παρασκευή εκλεκτής σοκολάτας, επιστρώσεων, στρώσεων και γαρνιρισμάτων. Η καλλιέργεια του κακαόδεντρου γίνεται από προϊστορικής εποχής στην Κεντρική Αμερική και αποτελεί το κύριο φυτό που χρησιμοποιούσαν οι Μάγια για την παρασκευή του περίφημου ροφήματος και πια είναι δύσκολη η εύρεση τους. Βρίσκονται κατά αποκλειστικότητα στην Κεντρική Αμερική όπως προαναφέρθηκε αλλά και στη Μαδαγασκάρη, τη Σαμόα, τη Βενεζουέλα και τη Σρι Λάνκα, με τη Βενεζουέλα να αποτελεί τον μεγαλύτερο παραγωγό της ποικιλίας. Οι ώριμοι λοβοί του φρούτου είναι κίτρινου ή κόκκινου χρωματισμού με μεγάλου μεγέθους κόκκους με λευκούς κοτυλήδονες μικρής ανθεκτικότητας τόσο σε βλάβες λόγω παρασίτων όσο και λόγω κλιματικών αλλαγών (Aprotosoaie, Luca , & Miron, 2016). Σε μερικές περιπτώσεις που επιθυμείται η δημιουργία προϊόντων με διαφορετικά χαρακτηριστικά, το κακάο “Criollo” συνδυάζεται με μη αρωματικές ποικιλίες.



Εικόνα 11: Καρπός ποικιλίας Criollo (Πηγή: <https://www.montosogardens.com/product/criollo-cacao-theobroma-cacao-2/>)

Όσον αφορά τον κόκκο του κακάο, κατατάσσεται ποιοτικά με βάση ορισμένα κριτήρια όπως η γευστικότητα, η ένταση του κακάο και οι νόστες αμυγδάλου, που διακρίνουν αυτά τα αρωματικά κακάο από άλλες ποικιλίες. Εξαιτίας της ποιότητας αυτής, τα κακάο «Criollo» καθίστανται πολύτιμη πρώτη ύλη για αυτούς που στοχεύουν στην παραγωγή εκλεκτής σοκολάτας και επικαλύψεων. Κάθε γεωργικό προϊόν, όπως το κακάο, είναι απαραίτητο να υποστεί μεταποίηση ώστε να αποτελέσει εμπορεύσιμο προϊόν. Συγκεκριμένα, στη

μεταποίηση του κακάο περιλαμβάνονται τα στάδια της συγκομιδής, της ζύμωσης, της ξήρανσης και σε μερικές περιπτώσεις το καβούρδισμα το οποίο ωστόσο μπορεί να λαμβάνει μέρος και σε μεταγενέστερο στάδιο μεταποίησης.

Το φρούτο του κακάο, γνωστό ως λοβός, καρπός, μεγάλο μούρο συγκομίζεται μόλις φτάσει στην ωριμότητα. Ο εξωτερικός χρωματισμός των ώριμων καρπών, μπορεί να είναι κίτρινος, κόκκινος ή βιολετί αναλόγως με την ποικιλία, ενώ οι ανώριμοι καρποί φέρουν χρώμα πράσινο.

2.1 Συγκομιδή, διαλογή και αποφλοιώση

Λόγω του αυξημένου κινδύνου σήψης του καρπού και της εκβλάστησης του κόκκου (που συμβαίνει κατά την αποξήρανση του πλακούντα), δεν πρέπει να πραγματοποιείται συγκομιδή των κόκκων σε προχωρημένο στάδιο ωρίμανσης. Επίσης, σε περίπτωση που οι λοβοί συγκομιστούν πριν από τη βέλτιστη ωρίμανση, η διαδικασία ζύμωσης επηρεάζεται αρνητικά. Οι κόκκοι κακάο είτε συγκομιστούν σε πρώιμο στάδιο ή μεταγενέστερα του βέλτιστου, περιέχουν αυξανόμενο ποσοστό βιολετί, γκριζών και μουχλιασμένων κόκκων, με αποτέλεσμα τη μείωση της απόδοσης του ξηρού κακάο.



Εικόνα 12: Ανατομική απεικόνιση του καρπού κακαόδεντρου

(Πηγή: <https://makechocolatefair.org/issues/cocoa-production-nutshell>)

Ανατομικά, ο καρπός του κακάο περιλαμβάνει το κέλυφος, τον πλακούντα (βλέννα) και τους σπόρους (κόκκους). Ειδικά, το κέλυφος ή αλλιώς περικάρπιο αποτελείται από 3 καλώς διαφοροποιημένα στρώματα:

- (1) το εξοκάρπιο, το οποίο ενδέχεται να φέρει ή όχι χρωματισμό, έχει σπογγώδη και μαλακή υφή, με ιδιαίτερα μεταβλητό πάχος,

(2) το μεσοκάρπιο, που αποτελείται από ημιξυλώδη κύτταρα που ανάλογα με τον γονότυπο διαφοροποιείται σε σκληρότητα, και

(3) το ενδοκάρπιο, με λεία, σαρκώδη υφή, μεταβλητού πάχους ανάλογα με τη γενετική ποικιλία. Στον τρυφερό καρπό συνδέεται με τον πλακούντα, αλλά αποκολλάται πλήρως καθώς ωριμάζει (βλ. Εικόνα 12)

Για τη συλλογή φρούτων που κρέμονται χαμηλά στο δέντρο μπορεί να γίνει χρήση σουγιά, μαχαιριού ή ψαλιδιού κλαδέματος. Αν τα φρούτα που βρίσκονται ψηλά, συλλέγονται χρησιμοποιώντας ένα καμπυλωτό μαχαίρι στερεωμένο σε ένα μακρύ κοντάρι, γνωστό και ως «desgarretadera» (βλ. Εικόνα 13). Για καρπούς που κρέμονται ψηλά, η συγκομιδή δεν πρέπει να γίνεται με ματσέτες, διότι αυξάνεται ο κίνδυνος να γρατζουνιστεί ο κορμός ή να καταστραφεί το «κουνουπίδι» (μίσχος) που παράγει τα άνθη, όπως και να τραυματιστεί ο χειριστής (βλ. Εικόνα 14).



Εικόνα 13 (αριστερά): desgarretadera που χρησιμοποιείται για τη συλλογή καρπών (Πηγή: <https://www.falabella.com.co/falabella-co/product/5866828/Tijera-desgarretadera-doble-corte-discover/5866828>)

Εικόνα 14 (δεξιά) : Κοπή καρπού από το κλαδί κακαόδεντρού με χρήση ματσέτας (Πηγή: <https://www.dreamstime.com/photos-images/cocoa-farmer.html>)

Αφού γίνει η συγκομιδή, οι καρποί του κακάο τοποθετούνται σε στοίβες για διαχωρισμό και αποφλοίωση. Κατά τον διαχωρισμό, γίνεται οπτική εξέταση των καρπών στην οποία τα υπερώριμα, άρρωστα ή πράσινα φρούτα θεωρούνται ακατάλληλα και απορρίπτονται (βλ. Εικόνα 15).



Εικόνα 15: α) από αριστερά προς τα δεξιά: αποξηραμένος καρπός, ώριμος καρπός, άγουρος καρπός, μη ανεπτυγμένος καρπός, β) προσβεβλημένος (άρρωστος) καρπός, γ) καρπός που έχει υποστεί διάτρηση

(Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/a-Fruit-development-stages-dry-mature-immature-and-bilro-from-left-to-right-b_fig2_352361242)

Εν συνεχεία, οι επιλεγμένοι υγροί καρποί τεμαχίζονται και αφαιρούνται οι κόκκοι. Η αφαίρεση των κόκκων γίνεται χειρωνακτικά με χρήση ματσέτας (machete) ή ξύλινου σφυριού και του οποίου η χρήση απαιτεί μεγάλη επιδεξιότητα έτσι ώστε να αποφευχθεί η καταστροφή των κόκκων που προσκολλώνται στον πλακούντα (γυγο). Είναι σημαντικό τα υπολείμματα του πλακούντα ή γυγο να απορρίπτονται κατευθείαν, καθώς αν αυτά έρθουν σε επαφή με τους κόκκους θα προκαλέσει την συσσωμάτωσή τους κατά την διάρκεια της ξήρανσης. Η διαδικασία αυτή δεν πρέπει να καθυστερήσει χρονικά να πραγματοποιηθεί, γιατί αν συμβεί αυτό η ζύμωση θα επιταχυνθεί με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του σωρού. Η έγκαιρη αποφλοίωση μειώνει επίσης την παραγωγή γαλακτικού οξέος, πτητικών οξέων, ελεύθερων οξέων και τανινών. Ωστόσο, έχει παρατηρηθεί ότι η γεύση της σοκολάτας μπορεί να βελτιωθεί με την αποθήκευση των καρπών κακάο για αρκετές (5) ημέρες πριν από την αποφλοίωσή τους. Τέλος, μετά το πέρας της αποφλοίωσης, οι κόκκοι θα πρέπει να υποστούν ζύμωση. Αξίζει να σημειωθεί ότι από το στάδιο της αποφλοίωσης προκύπτει υποπροϊόν μεγάλου όγκου (70-80% του συνολικού βάρους) το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως οργανικό λίπασμα όσο και ως ζωοτροφή (για χοίρους, βοοειδή, πουλερικά, κασίκες) (Gutiérrez, 2017).

2.2 Ζύμωση

Στο στάδιο της ζύμωσης ξεκινά να σχηματίζεται η γεύση της σοκολάτας, η οποία μετέπειτα με το καβούρδισμα γίνεται εντονότερη, οπότε η ζύμωση θα μπορούσε να θεωρηθεί ένα μεταβατικό στάδιο στην μετασυλλεκτική επεξεργασία του κακάο (Ozturk & Young, 2017). Επομένως, για την επίτευξη μιας καλής γευστικά σοκολάτας, καθώς και για να εξασφαλιστεί ο θάνατος του φύτρου, εμποδίζοντας τη εκβλάστηση και την αλλοίωση του κόκκου, απαραίτητο είναι να γίνει σωστή ζύμωση. Στην διαδικασία της ζύμωσης, η μικροβιακή δραστηριότητα πραγματοποιείται τόσο υπό αερόβιες όσο και αναερόβιες συνθήκες, ακολουθώντας μια οικολογική διαδοχή, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται χημικές ενώσεις που ευθύνονται για την γεύση της σοκολάτας. Στην 3^η ημέρα της ζύμωσης, στο κέντρο του σωρού από κόκκους η θερμοκρασία αυξάνεται στους 52,1 °C, ως αποτέλεσμα της υψηλής μικροβιακής δραστηριότητας, των αντιδράσεων που πραγματοποιούνται και της κατανάλωσης οξυγόνου από τους μικροοργανισμούς. Οι ενώσεις που σχηματίζονται σε αυτό το στάδιο ονομάζονται πρόδρομες ουσίες της γεύσης, αφού δεν ευθύνονται οι ίδιες για την τελική γεύση της σοκολάτας. Με το ανακάτεμα, δηλαδή το γύρισμα του σωρού του κακάο κατά τη διάρκεια της ζύμωσης με ένα ξύλινο φτυάρι, διασφαλίζεται η επάρκεια οξυγόνου και η θερμοκρασία δεν αυξάνεται υπερβολικά. Το πρώτο ανακάτεμα του κακάο γίνεται μετά τις πρώτες 48 ώρες ζύμωσης και στη συνέχεια ανακατεύεται κάθε 24 ώρες έως ότου να είναι έτοιμο για ξήρανση. Το σωστό ανακάτεμα αποτελεί πολύ σημαντικό στάδιο, καθώς προσφέρει αερισμό και οξυγόνο στο σύστημα, δροσίζοντας το και προσδίδοντας τη μέγιστη δυνατή αερόβια δραστηριότητα.

2.2.1 Διαδοχή μικροοργανισμών

Το μικροβίωμα που λαμβάνει μέρος στην φυσική ζύμωση των κόκκων κακάο αποτελεί συνέπεια των περιβαλλοντικών συνθηκών (θερμοκρασία, pH και μερική πίεση οξυγόνου) και του μεταβολισμού του υποστρώματος του πολτού κακάο όπου παράγονται σημαντικές ποσότητες αιθανόλης, γαλακτικού οξέος, οξικού οξέος και θερμότητας. Η διαδοχή των μικροοργανισμών έχει σαν αποτέλεσμα το έναυσμα πολύπλοκων βιοχημικών αντιδράσεων στο εσωτερικό των κοτυληδόνων των κόκκων εξαιτίας της διάχυσης των μεταβολιτών που παράγονται από τους μικροοργανισμούς. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ζύμωσης, συμβαίνει μια μικροβιακή διαδοχή στο σωρό του κακάο. Η ταχεία ανάπτυξη

των ζυμομυκήτων που κυριαρχούν κατά το πρώτο 24ωρο της ζύμωσης ευνοείται από τις χαμηλές τιμές pH και το πλούσιο σε σάκχαρα υπόστρωμα (Gutiérrez, 2017). Σε αυτό το στάδιο παράγεται η μέγιστη ποσότητα αιθανόλης, για την οποία ευθύνονται οι ζύμες που προκαλούν την πηκτινόλυση στον πολτό του κακάο (Ozturk & Young, 2017).

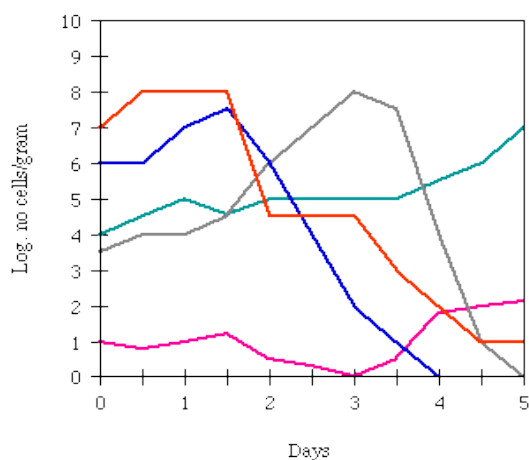
Επακολούθως, λαμβάνει χώρα ο αερισμός της μάζας ζύμωσης, που αποτελεί την αιτία για την άνοδο της θερμοκρασίας (πάνω από 37 °C) και ταυτόχρονα αντικαθίστανται οι ζύμες από τα βακτήρια γαλακτικού οξέος (LAB – Lactic Acid Bacteria). Τα βακτήρια του γαλακτικού οξέος, υπό τις νέες συνθήκες που επικρατούν, οξειδώνουν την αιθανόλη σε γαλακτικό οξύ και σχεδόν αμέσως μετά τα βακτήρια που παίζουν κυρίαρχο ρόλο στη μικροβιακή χλωρίδα της μάζας της ζύμωσης είναι αυτά του οξικού οξέος (AAB – Acetic Acid Bacteria). Αυτά τα βακτήρια προάγουν την οξείδωση του γαλακτικού οξέος σε οξικό οξύ. Παρόλα αυτά, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η παραπάνω διαδικασία είναι θεωρητική και αρκετοί συγγραφείς έχουν επισημάνει ότι υπάρχουν κι άλλες εναλλακτικές οδοί. Για παράδειγμα, το οξικό οξύ είναι δυνατόν να παραχθεί από τα AAB χάρη στην διαδικασία του άμεσου μεταβολισμού των σακχάρων. Η ανάπτυξη των επιθυμητών γεύσεων στη σοκολάτα οφείλεται σε πολύ μεγάλο ποσοστό στον σχηματισμό οξικού οξέος (Gutiérrez, 2017). Τα βακτήρια του γαλακτικού οξέος και αυτά του οξικού οξέος συνυπάρχουν μεταξύ των 24 και των 96 ωρών της ζύμωσης. Σε αυτό το χρονικό διάστημα, και οι δύο τύποι βακτηρίων καταναλώνουν γλυκόζη, φρουκτόζη και κιτρικό οξύ και παράγουν μαννιτόλη, γαλακτικό οξύ και οξικό οξύ, ενώ η θερμοκρασία παρουσιάζει αύξηση έως περίπου 50°C (την 3η ημέρα). Η παραγωγή θερμότητας και οξέων από τις χημικές αντιδράσεις που συμβαίνουν στους κόκκους είναι γνωστή ως ωρίμανση. Έχουν ταυτοποιηθεί πάνω από 42 είδη μικροοργανισμών που λαμβάνουν μέρος στη διαδικασία της ζύμωσης, παρόλα αυτά, δεν παίζουν όλοι οι μικροοργανισμοί κάποιο ουσιαστικό ρόλο (Schwan, Rose, & Board, 1995) (Ardhana & Fleet, 2003). Πρόσφατα, έγινε γνωστό πως η αλληλουχία των μικροβιακών ομάδων που παίρνουν μέρος, δεν είναι πάντοτε καθορισμένη και ακόμη και εντός της ίδιας χώρας και περιοχής τα μικροβιακά είδη που δραστηριοποιούνται σε όλη τη διάρκεια της διαδικασίας δεν είναι μονίμως τα ίδια (βλ. πίνακα 1). Ο ρόλος που παίζουν αυτοί οι μικροοργανισμοί στη διεργασία της ζύμωσης αναλύεται παρακάτω.

Δείγματα	S1	S2	S3	S4
Προέλευση	Γκάνα	Ακτή Ελεφαντοστού	Καμερούν	Ακτή Ελεφαντοστού
Ημέρες Ζύμωσης	6	7	7	6
Ημέρες Ξήρανσης	4	4	5	4
Μέσο ζύμωσης	ξύλινο κιβώτιο	ξύλινο κιβώτιο	έδαφος/ φύλλα μπανάνας	ξύλινο κιβώτιο
Αρχική καλλιέργεια (εκκινητής)	Όχι	Όχι	Όχι	Ναι
Μικροοργανισμοί που ανιχνεύθηκαν μετά το πέρας της ζύμωσης	Acetobacter (58%)= A. syzygii, A. pasteurianus, A. senegalensis, A. sicerae, A. tropicalis	Acetobacter= A. syzygii, A. pasteurianus, A. senegalensis, A. sicerae, A. tropicalis	Acetobacter= A. syzygii, A. pasteurianus, A. senegalensis, A. sicerae, A. tropicalis	Acetobacter (36%)= A. syzygii, A. pasteurianus, A. senegalensis, A. sicerae, A. tropicalis
	Klebsiella pneumoniae	Klebsiella pneumoniae	Klebsiella pneumoniae	Klebsiella pneumoniae
	Acinetobacter radioresistens	Acinetobacter radioresistens	Acinetobacter radioresistens	Acinetobacter radioresistens 12%
	Stapylococcus saprophyticus	Pediococcus spp.	Stapylococcus saprophyticus	Pediococcus spp.
	Bacillus spp.= Lysinibacillus boronitolerans, Rummeliibacillus, B. safensis	Bacillus spp.= Lysinibacillus boronitolerans, Rummeliibacillus, B. clausii	Bacillus spp.= Lysinibacillus boronitolerans	Bacillus spp.= Lysinibacillus boronitolerans, B. circulans
	Lactobacillaceae= L. vaginalis, Weissella spp, L. fermentum.	Lactobacillaceae= L. vaginalis, L. nagelii, Weissella spp, L. fermentum.	Lactobacillaceae= L. vaginalis, L.plantarum/paraplantarum, Weissella spp, L. fermentum.	Lactobacillaceae= L. vaginalis, L. nagelii, Weissella spp, L. fermentum.
	Corynebacterium	Corynebacterium	Corynebacterium	Corynebacterium
	Stenotrophomonas	Stenotrophomonas	Stenotrophomonas	Stenotrophomonas
	Enterococcus casseliflavus	Enterococcus casseliflavus	Enterococcus casseliflavus	Enterococcus casseliflavus, Enterococcus camelliae
			Athrobacter solii	Arthrobacter solii

Πίνακας 1: Εύρος μικροοργανισμών που συναντώνται σε κόκκους κακάο διαφορετικής γεωγραφικής προέλευσης και διαφορετικών τεχνικών ζύμωσης. (Bortolini C, Patrone V, Puglisi E et al. 2016)

2.2.2 Μικροβιακή προέλευση

Η διαδικασία ζύμωσης του κακάο συμβαίνει φυσικά. Οι υγιείς καρποί είναι στείροι ή σχεδόν στείροι εσωτερικά και ο πληθυσμός μικροβίων/g δεν υπερβαίνει τους 1.000. Σε ποικίλα στάδια της ωρίμανσης έχουν ταυτοποιηθεί αρκετά είδη ζυμομυκήτων όπως η *Candida krusei* (ατελής μορφή της *Issatchenkia orientalis*), η *Kloeckera apiculata* (ατελής μορφή της *Hanseniaspora uvarum*) και η *Pichia membranifaciens* παρόλα αυτά η παρουσία τους διαφέρει από φυτεία σε φυτεία. Το 1966 απομονώθηκε σε ανοιχτούς στείρους καρπούς ο *C.krusei* και το 2006 εντοπίστηκαν περίπου 102 ζύμες ανά γραμμάριο σε καρπούς του κακάο με το 80% των απομονωμένων μικροοργανισμών να ταυτοποιούνται ως *I.orientalis* ενώ το υπόλοιπο παρατηρήθηκε ότι αποτελείται από τον *P.membranifaciens*. Πολλά είδη ζυμομυκήτων ευρέθησαν επίσης στο εσωτερικών υγιών καρπών ενώ μεγάλος αριθμός των εν λόγω μικροοργανισμών έχει απομονωθεί από μαχαίρια (για τεμαχισμό καρπών), κουτιά ζύμωσης, επιφάνειες εργασίας, ξηρό πολτό, δίσκους ζύμωσης και χέρια εργαζομένων. Είναι εξαιρετικά πιθανό τα φύλλα μπανάνας που χρησιμοποιούνται κατά τη ζύμωση για κάλυψη των σπόρων του κακάο να αποτελούν παράγοντα επιμόλυνσης (Nielsen , και συν., 2007). Επίσης έντομα όπως οι μύγες και τα μυρμήγκια λειτουργούν ενίοτε ως φορείς μικροβίων (Nielsen , και συν., 2007) (Ostovar & Keeney, 1973). Συγκεκριμένα το 1973 εντοπίστηκαν σε 4 μύγες *Drosophila melanogaster*, που ευρέθησαν σε μία φυτεία κακάο στο νησί Τρινιτάντ, διάφορα είδη βακτηρίων (3 του οξικού οξέος, 4 Bacillus και 4 του γαλακτικού οξέος) όπως και ένας μεγάλος αριθμός ζυμομυκήτων (βλ. Εικόνα 16).



Εικόνα 16: Διαδοχή μικροοργανισμών κατά τη διάρκεια της ζύμωσης των κόκκων κακάο (Πηγή: <https://accounts.smccd.edu/case/chocolate.html>)

2.2.3 Ζύμες

Κατά τα αρχικά στάδια της ζύμωσης των κόκκων κακάο παρατηρείται πολλαπλασιασμός των ζυμομυκήτων με αποτέλεσμα την παραγωγή αλκοόλης που προσδίδει χαρακτηριστική οσμή. Η αύξηση τους οφείλεται στις χαμηλές συγκεντρώσεις οξυγόνου στη σάρκα, καθώς και στα υψηλά επίπεδα σακχάρων σε συνδυασμό με το όξινο περιβάλλον που δημιουργείται λόγω των μεγάλων ποσοτήτων κιτρικού οξέος. Κατά τα πρώτα στάδια ζύμωσης (24-36h) ο πληθυσμός των ζυμομυκήτων αυξάνεται από 10^7 σε 10^8 (CFU/g) αλλά μέχρι το τέλος της ζύμωσης μειώνεται (Schwan, Rose, & Board, 1995) (Ardhana & Fleet, 2003).

Οι ζυμομυκήτες επιτελούν διάφορες λειτουργίες με τις πιο σημαντικές να είναι :

- 1) Η αποσύνθεση του κιτρικού οξέος στους κόκκους κακάο που αυξάνοντας την τιμή του pH από 3,5 σε 4,2 ευνοεί την ανάπτυξη βακτηρίων,
- 2) Η παραγωγή αιθανόλης όταν επικρατούν συνθήκες χαμηλών επιπέδων οξυγόνου καθώς και υψηλής περιεκτικότητας σακχάρων που τελικά καταναλώνεται οξειδωτικά. Η αιθανόλη αυτή μεταβολίζεται από βακτήρια του οξικού οξέος (AAB) σε διάφορα οργανικά οξέα όπως το οξαλικό, το φωσφορικό, το ηλεκτρικό, το μηλικό και το οξικό τα οποία προκαλούν το θάνατο των κοτυληδόνων των κόκκων,
- 3) Η παραγωγή ορισμένων πτητικών οργανικών ενώσεων υπεύθυνων για την γεύση του τελικού προϊόντος σοκολάτας ή πιθανότερα η παραγωγή των πρόδρομων ενώσεων που καθορίζουν την τελική γεύση της σοκολάτας,
- 4) Η έκκριση πηκτινασών οι οποίες μειώνουν το ιξώδες του πολτού με αποτέλεσμα την εισροή αέρα στο εσωτερικό των κόκκων (Gutiérrez, 2017).

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ζύμωσης παράγεται θερμότητα με 93,3 kJ/mol λόγω της παραγωγής αιθανόλης από τη γλυκόζη και φρουκτόζη. Η αύξηση αυτή αν και μικρή πιθανόν να επηρεάζει τον πολλαπλασιασμό και να οδηγεί σε διακοπή της ανάπτυξης των ζυμομυκήτων (Ardhana & Fleet, 2003). Οι ζυμομυκήτες που συμμετέχουν κατά τη διαδικασία της ζύμωσης παρουσιάζουν εξαιρετικά μεγάλη ποικιλομορφία και περιλαμβάνονται είδη όπως: *Saccharomyces cerevisiae*, *Hanseniaspora guilliemondii*, *H. uvarum*, *Pichia kluyveri*, *P. membranifaciens*, *P. fermentans*, *I. orientalis*, *Candida torulopsis*, *C. syl-*

vae, *C. zemplinina*, *C. diversa*, *C. stellimalicola* και *Schizosaccharomyces spp.* όπως επιβεβαιώνεται από μελέτες χονδρικών ζυμώσεων που πραγματοποιήθηκαν σε κιβώτια και δίσκους στο Μπελίζ, τη Βραζιλία, την Ακτή Ελεφαντοστού, τη Μαλαισία, την Γκάνα και την Ινδονησία. Από όλους τους προαναφερθέντες μικροοργανισμούς ο *S. cerevisiae* εντοπίζεται σε μεγαλύτερη αφθονία (Schwan, Rose, & Board, 1995).

2.2.4 Βακτήρια του γαλακτικού οξέος (LAB)

Η συμμετοχή των LABs στη ζύμωση του κακάο δεν ήταν αρχικά γνωστή. Απομονώθηκαν και ταυτοποιήθηκαν για πρώτη φορά από κόκκους κακάο που βρίσκονταν σε διαδικασία ζύμωσης πολύ αργότερα από τους υπόλοιπους μικροοργανισμούς. Σήμερα πια είναι γνωστό ότι βρίσκονται σε μεγάλη αφθονία στα αρχικά στάδια της ζύμωσης, κατά τα οποία παράγουν γαλακτικό οξύ προερχόμενο από τη ζύμωση σακχάρων (Schwan, Rose, & Board, 1995) (Nielsen, και συν., 2007). Βρέθηκε ότι ο αριθμός των LABs γίνεται να φτάσει μεταξύ 10^8 - 10^9 CFU/g κατά τις πρώτες 24-48 ώρες της ζύμωσης. Στην πλειοψηφία τους τα βακτήρια του γαλακτικού οξέος παράγουν περισσότερο από 85% του συνολικού γαλακτικού οξέος από γλυκόζη μέσω της πορείας Embden-Meyerhof-Parnas. Παρόλα αυτά, ορισμένα είδη μεταβολίζουν διαφορετικά τη γλυκόζη μέσω αντιδράσεων παράκαμψης της οδού της μονοφωσφορικής εξόζης αποδίδοντας 50% γαλακτικού οξέος όπως επίσης και συνδυασμό αιθανόλης, οξικού οξέος, γλυκερόλης, μαννιτόλης και διοξειδίου του άνθρακα. Η παραγωγή γαλακτικού οξέος δεν αποτελεί τη μοναδική λειτουργία των LAB κατά τη ζύμωση καθώς προσλαμβάνουν το κιτρικό οξύ που έχει παραχθεί προηγουμένως, όπως αναφέρθηκε και αυτό οδηγεί σε αύξηση του pH. Αξίζει να σημειωθεί ότι δεν υπάρχουν σημαντικά ευρήματα σχετικά με την ποικιλομορφία των LAB που συμμετέχουν στη ζύμωση του κακάο. Παρόλα αυτά έχουν πραγματοποιηθεί ορισμένες μελέτες, επικεντρωμένες σε αυτά τα βακτήρια χωρίς όμως να έχουν χρησιμοποιηθεί σύγχρονες πολυφασικές ταξινομικές προσεγγίσεις (χρήση φαινοτυπικών και γονοτυπικών μεθόδων έρευνας). Όμως, μελέτες στη Δυτική Αφρική και την Ινδονησία έδειξαν τη συμβολή των LAB ταυτοποιώντας τα ακόλουθα είδη : *L. collinoides*, *L. mali*, *L. hilgardii*, *L. fermentum* και *L. plantarum*. Οι πληθυσμοί των LAB σε κακάο που υφίσταται ζύμωση σε δοχεία στη Βραζιλία και στην περιοχή της Καραϊβικής είναι ακόμα περισσότερο ποικιλόμορφοι ωστόσο, παρατηρούνται επίσης και αρκετά είδη του γένους *Lactobacillus*, *Leuconostoc*, *Lactococcus* και

Pediococcus genera. Ο *L. plantarum* και, σε περισσότερες περιπτώσεις, ο *L. fermentum* έχουν απομονωθεί από κοκοφοίνικες σε διάφορα μέρη ανά τον κόσμο, που έχουν υποστεί ζύμωση με διάφορες τεχνικές. Έτσι φαίνεται ξεκάθαρα ότι οι *L. plantarum* και *L. fermentum* είναι τόσο αυτόχθονες όσο και διαρκώς παρόντες κατά τη ζύμωση του κακάο.

2.2.5 Βακτήρια οξικού οξέος (AAB - Acetic Acid Bacteria)

Τα AAB μετατρέπουν την αιθανόλη που παράγεται από τις ζύμες στην αρχή της διαδικασίας ζύμωσης σε οξικό οξύ, δημιουργώντας την εύκολα αναγνωρίσιμη οσμή οξικού οξέος που συνδέεται με τη ζύμωση των κόκκων κακάο. Τα είδη AAB που απαντώνται κατά τη ζύμωση του κακάο είναι: *Acetobacter pasteurianus*, *A. aceti*, *A. syzygii*, *A. tropicalis*, *A. malorum*, *Gluconobacter oxydans* και *G. xylinus*. Κατά τη διάρκεια της ζύμωσης λαμβάνει χώρα μια αερόβια φάση στην οποία ο *A. pasteurianus* αποτελεί το κυριότερο εμπλεκόμενο AAB είδος που συμβάλλει στην αυθόρμητη ζύμωση των κόκκων κακάο αν και συχνά απαντώνται επίσης οι *Acinetobacter* και *Gluconobacter spp.* Ωστόσο, μέχρι και σήμερα, είναι ιδιαίτερα περιορισμένος ο αριθμός μέσων καλλιέργειας από τα οποία μέσω ζύμωσης μπορούν να απομονωθούν στελέχη AAB. Παρ' όλα αυτά έχουν βρεθεί AAB τιμές μεταξύ 10^5 - 10^9 CFU/g κατά τη διαδικασία της ζύμωσης. Συνήθως οι AAB κάνουν την εμφάνισή τους όταν η θερμοκρασία ανέλθει άνω των 37°C η οποία προκαλεί την ξήρανση του βλεννώδους υλικού του σωρού ζύμωσης. Αν και τα εν λόγω βακτήρια είναι πιθανό να χρειάζονται την παρουσία οξυγόνου για τον πολλαπλασιασμό τους, ορισμένα είδη εξ αυτών μπορούν να αναπτύσσονται σε αρκετά αναερόβιες συνθήκες. Τα αερόβια AAB παράγουν οξικό οξύ που αποτελεί σημαντικό μεταβολίτη στη ζύμωση του κακάο καθώς το πτητικό αυτό οξύ διαχέεται στο εσωτερικό των κόκκων και συνδυαστικά με την ταυτόχρονη εξώθερμη βιομετατροπή της αιθανόλης σε οξικό οξύ (496 kJ ανά mole αιθανόλης που μετατρέπεται σε οξικό οξύ), προκαλεί τη νέκρωση του εμβρύου του σπόρου, την υποβάθμιση της κυτταρικής δομής των κόκκων όπως και το τέλος της ζύμωσης. Αυτό συντελεί στην έναρξη βιοχημικών μετατροπών στους κόκκους οι οποίες οδηγούν στον ενζυμικό σχηματισμό πρόδρομων μορίων υπεύθυνων για την ανάπτυξη χαρακτηριστικού αρώματος, γεύσης και χρώματος του τελικού προϊόντος, τα οποία εν συνεχεία κατά τη διάρκεια της ξήρανσης, του ψησίματος και των άλλων σταδίων επεξεργασίας αναπτύσσονται περαιτέρω. Έτσι, το τελικό προϊόν σοκολάτας αποτελεί ένα συνδυασμό παραγόντων που εξαρτώνται καθοριστικά από την αερόβια παραγωγή οξικού οξέος μέσω των AAB (Gutiérrez, 2017).

2.2.6 Αερόβια σπορογόνα βακτήρια

Αναπτύσσονται στο τέλος της ζύμωσης αποκλειστικά υπό αερόβιες συνθήκες, λόγω αύξησης της θερμοκρασίας (40-50°C) όπως και του pH (από 3,5 σε 5). Οι πληθυσμοί τους συνήθως φτάνουν και ενίοτε ξεπερνούν τα 10^8 CFU/g στα τελευταία στάδια της ζύμωσης (Schwan, Rose, & Board, 1995) (Ardhana & Fleet, 2003). Συγκεκριμένα έχουν εντοπιστεί βακτήρια *Bacillus spp.*, ο ρόλος των οποίων δεν έχει διευκρινιστεί πλήρως παρόλο που είναι γνωστό ότι μέσω αυτών παράγεται ποικιλία χημικών ενώσεων που συντελούν τόσο στην τελική οξύτητα όσο και υπό ορισμένες συνθήκες στη γεύση των ζυμωμένων κόκκων κακάο. Παρόλα αυτά, είναι αρκετά πιθανό ο πολλαπλασιασμός τους να έχει ως αποτέλεσμα κακή γεύση του τελικού προϊόντος αφού έχουν υψηλή ενζυμική δραστηριότητα και δύνανται να παράγουν χημικές ενώσεις, όπως λιπαρά οξέα μικρής ανθρακικής αλυσίδας, 2,3-βουτανολιόλη καθώς και πυραζίνες. Μάλιστα παρατηρήθηκε ότι ελεύθερα λιπαρά οξέα τριών έως πέντε ανθράκων που θεωρούνται υπεύθυνα για τη δυσάρεστη γεύση της σοκολάτας μπορούν να βρεθούν κατά την αερόβια φάση της ζύμωσης και παράγονται από τους *B. subtilis*, *B. cereus* και *B. megaterium*. Μελέτες έχουν δείξει ότι οι πληθυσμοί *Bacillus* σχετιζόμενοι με την ζύμωση αποτελούνται από είδη όπως : *B. licheniformis*, *B. subtilis*, *B. pumilus*, *B. megaterium*, *B. cereus* και *B. sphaericus* (Ardhana & Fleet, 2003) (Nielsen, και συν., 2007). Γενικώς, είναι δύσκολο να προκύψει κάποιο συμπέρασμα σχετικά με το αν κάποιο συγκεκριμένο βακτήριο του *Bacillus spp.* επικρατεί κατά τη διαδικασία ζύμωσης του κακάο καθώς τα δεδομένα που έχουν συλλεχθεί ανά τα χρόνια είναι αντιφατικά.

2.2.7 Άλλα βακτήρια

Παρόλο που έχουν ταυτοποιηθεί πολλά είδη βακτηρίων (εκτός των LAB, AAB και *Bacillus spp.*) σε ζυμωμένους κόκκους κακάο δεν είναι πλήρως κατανοητό κατά πόσο η συμμετοχή τους είναι καθοριστικής σημασίας για τη ζύμωση. Δεν μπορεί να αγνοηθεί παρ' όλα αυτά η συχνή παρουσία τους και να μην πιθανολογείται ότι αυτή έχει κάποιου είδους αντίκτυπο στο τελικό προϊόν. Το 2003 εντοπίστηκαν διάφορα είδη *Staphylococcus spp.* και *Micrococcus kristinae* σε ζυμωμένους κόκκους κακάο 3 διαφορετικών φυτειών της Ινδονησίας, ενώ σε 2/3 των δειγμάτων που εξετάστηκαν βρέθηκε ο *Pseudomonas ceracea*. Το

1973 αναφέρθηκε επίσης η περιστασιακή παρουσία *Micrococcus* spp. σε κακάο που υφίστατο ζύμωση σε κιβώτια προερχόμενα από Ινδονησία, Τρινιντάντ και Τομπάγκο.

2.2.8 Νηματοειδείς μύκητες

Είναι γνωστό ότι δύνανται να αναπτυχθούν σε κάθε είδος τρόφιμου έχοντας αρνητική επίδραση τόσο στη χημική δομή όσο και τη διατροφική τους αξία. Η παρουσία τους σε τρόφιμα εκδηλώνεται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους όπως υποβαθμίζοντας τη γεύση, την οσμή, τα επίπεδα των περιεχόμενων θρεπτικών συστατικών, παράγοντας τοξίνες, αποχρωματίζοντας και αποσυνθέτοντας τη δομή των τροφίμων και δημιουργώντας ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη άλλων αλλεργιογόνων και παθογόνων μικροοργανισμών. Διαπιστώθηκε ότι η ανάπτυξη των μυκήτων παρουσιάζεται κατά τις πρώτες 36 ώρες τη ζύμωσης, γεγονός που συμβάλλει σημαντικά στην αποικοδόμηση της πηκτίνης του πολτού στα αρχικά στάδια της διαδικασίας. Στα τελικά στάδια της ζύμωσης, οι νηματοειδείς μύκητες παρουσιάζουν προτίμηση στις αερόβιες ζώνες της μάζας κακάο στις οποίες επικρατεί χαμηλότερη θερμοκρασία και αναπτύσσονται στα συγκεκριμένα σημεία. Αποτέλεσμα της ανάπτυξης αυτών των μικροοργανισμών είναι η εμφάνιση της χαρακτηριστικής μούχλας (μυκήλιο) στο εσωτερικό των κόκκων κακάο, γεγονός που υποβαθμίζει τη λιανική τους αξία, αφού δημιουργεί ελαττώματα οσμής όπως παραδείγματος χάριν τη «μυρωδιά μούχλας» καθώς και την αύξηση των μη εστεροποιημένων (ελεύθερων) λιπαρών οξέων. Η παρουσία των νηματοειδών μυκήτων μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτή στο εξωτερικό των ζυμώμενων κόκκων, παρόλα αυτά στο εσωτερικό της ζυμώμενης μάζας δεν είναι εύκολο να ανιχνευθούν.

Σε γενικές γραμμές δεν υπάρχει ιδιαίτερη γνώση για το ρόλο των νηματοειδών μυκήτων κατά τη διάρκεια της ζύμωσης του κακάο καθώς δεν έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες επί του θέματος. Ωστόσο, είναι γνωστό ότι έχουν την ικανότητα υδρόλυσης της σάρκας του καρπού με ταυτόχρονη παραγωγή οξέων, δυσάρεστων αρωμάτων και αλλοιώσεων στη γεύση των κόκκων. Επίσης, είναι πιθανό ότι η συνεχής και εκτεταμένη αύξηση μυκήτων στο τέλος της διαδικασίας εγκυμονεί ακόμα μεγαλύτερο κίνδυνο υποβάθμισης στη συνέχεια κατά τη διάρκεια της φάσης ξήρανσης. Έχει επιτευχθεί η απομόνωση συγκεκριμένων μυκήτων που βρίσκονται με μεγαλύτερη συχνότητα στους υπό ζύμωση κόκκους κακάο και οι οποίοι είναι οι : *Aspergillus fumigatus*, *A. glaucus*, *A. versicolor*, *A.*

wentii, *Mucor spp.*, *Monascus ruber*, *Mortierella gamsii*, *Paecilomyces variotii*, *Penicillium citrinum*, *P. ochrocloron*, *P. paneum* και *P. purpurogenum*. Η ανάπτυξη των προαναφερθέντων και άλλων μυκήτων είναι πιθανό να οδηγήσει όπως είναι λογικό στην παραγωγή μυκοτοξινών όπως η κιτρινίνη, η ωχρατοξίνη Α (ΟΤΑ), αρκετών αφλατοξινών (αφλατοξίνη Β1, αφλατοξίνη Β2, αφλατοξίνη G1, αφλατοξίνη G2, αφλατοξίνη Μ1 και αφλατοξίνη Μ2). Η παραγωγή της κιτρινίνης οφείλεται στον *Penicillium citrinum* και της ΟΤΑ σε 2 κύριες ομάδες μυκήτων, τα είδη *Aspergillus* και *Penicillium*. Από τις παραπάνω πιο επιβλαβείς για τον ανθρώπινο οργανισμό θεωρούνται τόσο η ΟΤΑ όσο οι αφλατοξίνες αφού είναι πιθανό να είναι δυνητικά καρκινογόνες. Από ανάλυση ΟΤΑ και αφλατοξινών που πραγματοποιήθηκε σε 85 δείγματα προϊόντων κακάο προερχόμενα από τον Καναδά μεταξύ των ετών 2011 και 2012 προέκυψε το συμπέρασμα ότι η συχνότητα εμφάνισης ΟΤΑ και αφλατοξινών υπερέβαινε τα επιτρεπόμενα όρια για συγκεκριμένα προϊόντα με βάση το κακάο όπως το φυσικό κακάο, το αλκαλισμένο κακάο, τη μαύρη σοκολάτα, τη σοκολάτα γάλακτος και το ρευστό κακάο, όμως δεν ανιχνεύθηκε παρουσία ΟΤΑ στο βούτυρο κακάο.

Είναι εμφανής λοιπόν, από τα παραπάνω ευρήματα, η σημασία του ελέγχου των προϊόντων για τοξικές ουσίες. Έχει ανιχνευτεί κιτρινίνη σε φλοιούς κόκκων κακάο όχι όμως στους ίδιους τους κόκκους. Παρόλα αυτά δεν θεωρείται σίγουρη η απουσία κιτρινίνης καθώς οι χαμηλές συγκεντρώσεις που εντοπίστηκαν σε τρόφιμα και ζωοτροφές μπορεί να οφείλονται σε αναλυτικές δυσκολίες κατά την ανίχνευση της. Αν αυτή η θεωρία είναι αληθής τότε το παραπάνω εύρημα αποτελεί προϊόν προβληματισμού, καθώς παρατηρήθηκε υψηλός ρυθμός ανάπτυξης του μικροοργανισμού *P. citrinum* στα αρχικά στάδια ζύμωσης του κακάο στην Ινδονησία. Προκαλεί επίσης ανησυχία το γεγονός ότι το 2011 απομονώθηκαν 1132 δυνητικά τοξινογόνοι νηματοειδείς μύκητες κατά τα πρώτα στάδια επεξεργασίας του κακάο συμπεριλαμβανομένης και της ζύμωσης εντός αυτών. Παρόλα αυτά η βιομηχανική επεξεργασία της σοκολάτας καταφέρνει να μειώσει σε σημαντικά επίπεδα τις γενικές μολύνσεις που ενδέχεται να προκληθούν λόγω της επίδρασης μυκήτων αλλά και τα ειδικά επίπεδα μυκοτοξινών. Παραδείγματος χάριν κατά τη διάρκεια μεταποίησης της σοκολάτας σημειώθηκε μείωση της ποσότητας ΟΤΑ έως και 93,6%, ενώ κατά την ορθή πρακτική αποθήκευσης με συνθήκες υγρασίας κάτω του 8% αποφεύχθηκε ο πολλαπλασιασμός νηματοειδών μυκήτων (Gutiérrez, 2017).

2.2.9 Μη καλλιεργήσιμοι μικροοργανισμοί

Την τελευταία δεκαετία έχει σημειωθεί αξιόλογη ανάπτυξη τεχνικών ανεξάρτητων της καλλιέργειας, όπως η αλυσιδωτή αντίδραση πολυμεράσης συνδυαστικά με ηλεκτροφόρηση σε πήκτωμα αποδιατακτικού παράγοντα υπό κλίση (PCR-DGGE). Η μεγαλύτερη ευαισθησία της τεχνικής έδωσε τη δυνατότητα ανίχνευσης ειδών μικροοργανισμών τα οποία διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο κατά τη διαδικασία της ζύμωσης. Στην Γκάνα μέσω της τεχνικής DGGE σε δείγμα που είχε ήδη υποστεί 3 ώρες ζύμωσης ανιχνεύθηκε η ζύμη *Candida stellimalicola*, το 2007 ενώ παρατηρήθηκε ικανοποιητική αντιστοιχία μεταξύ των αποτελεσμάτων της DGGE και των παραδοσιακών τεχνικών καλλιέργειας. Παρόλα αυτά, η υψηλή ευαισθησία της μεθόδου DGGE απέδειξε τη δραστηριότητα του ζυμομύκητα *Hanseniaspora guilliermondii* έως περίπου 96 ώρες ζύμωσης, σε αντίθεση με τις τεχνικές καλλιέργειας που ανίχνευσαν αντίστοιχη δραστηριότητα μόνο εντός των πρώτων 24 ωρών. Ωστόσο, πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψιν το γεγονός ότι τα αποτελέσματα της DGGE είναι ευκόλως ευεπηρέαστα από ανασταλτικές ενώσεις οι οποίες εμποδίζουν την ομαλή εκτέλεση της αντίδρασης PCR ή από μεροληπτική χρήση του γονιδίου 16S rRNA ορισμένων ομάδων ή ειδών. Για το λόγο αυτό είναι επιτακτικής ανάγκης ο συνδυασμός των δύο παραπάνω τεχνικών τόσο των εξαρτώμενων από την καλλιέργεια όσο και των μη εξαρτώμενων από την καλλιέργεια, για τη μελέτη των πολύπλοκων μικροβιακών ζυμώσεων. Έτσι λοιπόν η ζύμωση των κόκκων κακάο θα μπορούσε σε μεγάλο βαθμό να επωφεληθεί από τις νέες τεχνικές και ιδέες που εισάγει η μεταγονιδιωματική και να αποτελέσει ένα επιπλέον πεδίο μελέτης. Με τη χρήση της μεταγονιδιωματικής καθίσταται εφικτή η ταυτοποίηση μέσω της παρουσίας συγκεκριμένων γονιδίων που εκφράζονται κατά τη ζύμωση, αλλά και μη καλλιεργήσιμων μικροοργανισμών οι οποίοι ανιχνεύονται με τη χρήση τεχνικών ανεξάρτητων της καλλιέργειας όπως η PCR-DGGE. Οι ευρεθέντες μικροοργανισμοί μέσω των παραπάνω τεχνικών δυνητικά θα μπορούσαν να έχουν μεγάλη επίδραση στην ποιότητα των ζυμώμενων κόκκων, επηρεάζοντας τα τελικά προϊόντα σοκολάτας, άρα φαίνεται ότι η εξέταση των λειτουργιών τους μέσω μίας μεταγονιδιωματικής προσέγγισης θα μπορούσε να επιδράσει θετικά κατά τη σχεδίαση μελλοντικών στρατηγικών για τη βελτίωση των μικροβιακών ζυμώσεων προωθώντας την γνώση συγκεκριμένων φυσιολογικών χαρακτηριστικών.

2.3 Η βιοχημεία της ζύμωσης

Η ζύμωση από χημική σκοπιά, χωρίζεται σε 2 στάδια: τη υδρόλυση και την οξείδωση. Η υδρόλυση που αποτελεί το πρώτο στάδιο, χαρακτηρίζεται από το χαμηλό pH του πολτού (3,4 έως 4,0), την περιεκτικότητα σε σάκχαρα που κυμαίνεται από 8% έως 24% και την χαμηλή μερική πίεση του οξυγόνου, τα οποία δημιουργούν ευνοϊκές συνθήκες για την ανάπτυξη και την κυριαρχία αναερόβιων ζυμομυκήτων (*Saccharomyces* spp. και *Betabacterium* spp.) στις πρώτες 24- 36 ώρες της ζύμωσης. Οι ζύμες επιτελούν αλκοολική ζύμωση που έχει σαν αποτέλεσμα την μετατροπή των σακχάρων σε αλκοόλη και διοξείδιο του άνθρακα. Στη συνέχεια, σειρά παίρνουν τα αερόβια βακτήρια (όπως το *Acetobacter* spp.) τα οποία επιτελούν οξική ζύμωση και καταναλώνουν τις αλκοόλες. Σε αυτό το σημείο, λαμβάνει χώρα η αποικοδόμηση των ανθοκυανινών από τη γλυκοσιδάση. Η γλυκοσιδάση ενεργεί μόλις ο σπόρος νεκρωθεί και σε pH που κυμαίνεται από 4 ως 4,5 και σε θερμοκρασία 45 °C (Ardhana & Fleet , 2003). Όσο αφορά το πορφυρό χρώμα των κόκκων, οι χρωστικές ουσίες 3-β-D γαλακτοσιδυλοκυανιδίνη και 3-α-L αραβινοσιδυλοκυανιδίνη είναι υπεύθυνες για αυτό, χωρίς όμως να είναι υπεύθυνες και για το άρωμα (Gutiérrez, 2017). Οι ανθοκυανίνες υδρολύονται προς ανθοκυανιδίνες και σάκχαρα (γαλακτόζη και αραβινόζη), από τις οποίες σχηματίζεται μια σταθερή και άχρωμη ψευδοβάση (Gutiérrez, 2017) (Camu, et al., 2008). Η υδρόλυση αυτών των χρωστικών ουσιών είναι σημαντική, αφού υφίσταται μια αντίστροφη σχέση μεταξύ της ανάπτυξης της γεύσης και της διατήρησης του πορφυρού χρώματος (Afoakwa E, Paterson A, Fowler M και συν. 2008). Ακόμα, σε αυτό το αναερόβιο στάδιο, συμβαίνει μια επιπλέον σπουδαία αντίδραση, η υδρόλυση των πρωτεϊνών προς αμινοξέα και πεπτίδια (πρωτεόλυση), σε βέλτιστη θερμοκρασία 55°C και pH 4,7. Αντιθέτως, στο αερόβιο ή οξειδωτικό στάδιο, πραγματοποιείται η χημική συμπύκνωση των πολυφαινολικών ενώσεων προς αδιάλυτα σύνθετα προϊόντα τα οποία φέρουν λίγη έως καθόλου γεύση. Κατά την μεταγενέστερη ξήρανση, η οξείδωση δεν παύει να υφίσταται, πράγμα που συμβαίνει μέχρις ότου η περιεχόμενη υγρασία να έχει ελαττωθεί σε τέτοιο βαθμό που εμποδίζεται η ενζυμική δραστηριότητα. Οι κόκκοι παίρνουν καφέ χρώμα σε αυτό ακριβώς το σημείο, μια ένδειξη μετάβασης ανάμεσα στο στάδιο της υδρόλυσης και της οξείδωσης. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια του αερόβιου σταδίου, πραγματοποιούνται κι άλλες αντιδράσεις, όπως η οξείδωση των αναερόβια σχηματιζόμενων συ-

μπλόκων πρωτεΐνης-πολυφαινόλης. Όλες οι παραπάνω διαδικασίες, η αλληλουχία των γεγονότων αλλά και οι βαθμοί τόσο της υδρόλυσης όσο και της οξειδωσης, είναι πολύ πιθανό να διαφέρουν κατά περίπτωση, αναλόγως με την τεχνική ζύμωσης που εφαρμόζει ο εκάστοτε παραγωγός. Κατά τον ίδιο τρόπο, οι ενζυμικές αντιδράσεις που γίνονται στη ζύμωση καθορίζουν τις συγκεντρώσεις των πρόδρομων ουσιών του αρώματος.

Στους ιστούς των κοτυληδόνων υπάρχουν 2 τύποι κυττάρων: τα κύτταρα που φέρουν χρώμα, δηλαδή είναι χρωματισμένα, και τα άχρωμα εφεδρικά κύτταρα. Στα χρωματισμένα κύτταρα αποθηκεύονται πολυφαινόλες (ταννίνες, κατεχίνες, ανθοκυανίνες, λευκοανθοκυανίνες) και πουρίνες (θεοβρωμίνη και καφεΐνη). Από την άλλη, ο ρόλος των εφεδρικών κυττάρων είναι να περικλείουν τους κρυστάλλους του λίπους του κακάο, τους κόκκους του αμύλου, τα ένζυμα και τις πρωτεΐνες (κόκκοι αλευρόνης) (Gutiérrez, 2017). Τα χρωματισμένα κύτταρα φέρουν λευκό ως βαθύ μωβ χρώμα, ανάλογα με την ποσότητα των ανθοκυανινών που περιέχουν (Camu, et al., 2008). Όταν το φυτό του σπόρου έχει νεκρωθεί, τα κυτταρικά τοιχώματα αποκτούν διαπερατότητα, με αποτέλεσμα το υλικό που περιέχεται εντός αυτών να διαχέεται ελεύθερα ανάμεσα στους ιστούς, παρασέρνοντας έτσι ένζυμα τα οποία υπάρχουν στα εφεδρικά κύτταρα και βρίσκονται σε επαφή με τις πολυφαινόλες στα χρωματισμένα κύτταρα. (Gutiérrez, 2017). Έτσι οι πολυφαινόλες υφίστανται οξείδωση και συμπλοκοποίηση ως προς ταννίνες υψηλής μοριακής μάζας, κυρίως αδιάλυτες (Camu, et al., 2008). Ανάμεσα στις πολυφαινόλες κατατάσσονται και οι ενώσεις αντικυανιδίου, οι οποίες υδρολύονται σε άχρωμα προϊόντα, τα οποία όταν οξειδωθούν, αποκτούν ένα αντιπροσωπευτικό καφέ χρώμα. Οι πολυφαινόλες μετατρέπονται σε κινόνες από τις οξειδάσες των πολυφαινολών. Έτσι λοιπόν, οι πολυφαινόλες και οι κινόνες διαμορφώνουν σύμπλοκα με άλλες πολυφαινόλες, πρωτεΐνες και πεπτιδία, με αποτέλεσμα την ελάττωση της διαλυτότητάς τους, της στυπτικότητας των κόκκων και επιφέρει τον καφέ χρωματισμό στους κόκκους του κακάο, χαρακτηριστικό των καλά ζυμωμένων κόκκων (Gutiérrez, 2017) (Camu, et al., 2008). Όσον αφορά τις υπόλοιπες πολυφαινολικές ενώσεις, η εν μέρει εξαφάνισή τους από τους ιστούς των κοτυληδόνων, οφείλεται ως επί το πλείστον σε απώλειες εξαιτίας της ώσμωσης δια μέσου του περιβλήματος του σπόρου. Αυτό το 2^ο στάδιο, δηλαδή το στάδιο της οξείδωσης, συνεχίζει να πραγματοποιείται και κατά την ξήρανση. Στην ξήρανση, οι φαινολικές ενώσεις που προϋπάρχουν αλλά και τα προϊόντα αποικοδόμησης των ανθοκυανινών, επηρεάζονται από τις αντιδράσεις οξείδωσης.

Μια ακόμα αλλαγή που συμβαίνει κατά τη διάρκεια της ζύμωσης είναι αυτή που αφορά τα γενικά φυσικά (μορφολογικά) χαρακτηριστικά των κόκκων του κακάο. Οι κόκκοι του κακάο την ημέρα μηδέν είναι επίπεδοι και περιβάλλονται από άφθονη βλεννώδη ουσία, ενώ 5 ημέρες αργότερα διογκώνονται. Επιπλέον υπάρχει αξιοσημείωτη μεταβολή και στην υφή των κόκκων η οποία στην αρχή της ζύμωσης είναι λεία και συμπαγής ενώ στο τέλος έχει μεταβληθεί σε τραχιά. Τέλος, στην αρχή της ζύμωσης οι κόκκοι (εσωτερικά και εξωτερικά) έχουν σκούρο ιώδες ή/και λευκό χρώμα ενώ μέχρι το πέρας της διαδικασίας έχουν αποκτήσει σκούρο καφέ ή σκούρο κοκκινωπό χρώμα (Gutiérrez, 2017).

2.4 Μέθοδοι ζύμωσης

Όσον αφορά τις μεθόδους ζυμώσεως που χρησιμοποιούνται, υπάρχουν 2 παραδοσιακές μέθοδοι: η μέθοδος του κιβωτίου και η μέθοδος της στοίβας ή αλλιώς της σωρού. Η μέθοδος της ζύμωσης μέσω σωρού βρίσκει ευρεία εφαρμογή κυρίως σε μικρές φυτείες. Σε αυτή την τεχνική, διάφορες ποσότητες κόκκων που έχουν μόλις συγκομιστεί όπως και μερική σάρκα από τον ίδιο τον καρπό, τοποθετούνται, σε διάταξη στοίβας, πάνω σε πλατιά φύλλα μπανανιάς, που έχουν ήδη στρωθεί στο έδαφος (βλ. Εικόνα 17). Στη συνέχεια η στοίβα σκεπάζεται με φύλλα μπανανιάς. Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να διαρκέσει από 3 έως 6 ημέρες, διάστημα που εξαρτάται από την ποικιλία του κακάο αλλά και από την διαχείριση των καλλιεργητών κακάο.



Εικόνα 17: Ζύμωση κόκκων κακάο πάνω σε φύλλα μπανάνας
(Πηγή:http://mlibanio.com.br/eng/beneficiamento_cacau.php)

Ωστόσο, σε φυτείες μεγαλύτερων διαστάσεων χρησιμοποιείται περισσότερο η μέθοδος της ζύμωσης σε κιβώτια. Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει κιβώτια από ξύλο ή τσιμέντο τα οποία γεμίζονται με μεγάλες ποσότητες κόκκων κακάο. Στο δάπεδο του κιβωτίου

υπάρχουν οπές εξόδου ή αλλιώς αυλάκια, τα οποία συμβάλλουν στον αερισμό και επιτρέπουν την αποστράγγιση των υγρών του πολτού. Τα κιβώτια ενδέχεται να έχουν βάθος μέχρι και 1 m, παρόλα αυτά, τα κιβώτια με μικρότερα βάθη (25 έως 50 cm) αποφέρουν κόκκους με καλύτερη συγκριτικά γεύση, αποτέλεσμα του καλύτερου αερισμού. Σε καθημερινή βάση και μέσα στα κιβώτια, οι κόκκοι του κακάο ανακατεύονται/αναμιγνύονται μεταξύ τους έτσι ώστε να επιτευχθεί ο αερισμός και να διασφαλιστεί η σωστή ζύμωση. Τέλος, ο χρόνος της ζύμωσης σε αυτή τη μέθοδο είναι παρόμοιος με τον χρόνο της μεθόδου σε στοίβα, ωστόσο μερικοί αγρότες μπορεί να αφήσουν τους κόκκους στα κιβώτια 1-2 ημέρες παραπάνω (βλ. Εικόνα 18) (Beckett, 2017) (Ozturk & Young, 2017).



Εικόνα 18: Ζύμωση κόκκων κακάο σε κιβώτια

(Πηγή:<https://www.confectionerynews.com/Article/2014/10/22/Chocolate-from-cocoa-tray-fermentation-Toms>)

Κάποιες άλλες μέθοδοι ζύμωσης χρησιμοποιούνται συχνότερα ή λιγότερο συχνά σε διάφορες χώρες. Για παράδειγμα, στην Δυτική Αφρική, συγκεκριμένα στην Ακτή Ελεφαντοστού και στην Γκάνα, η διαδικασία της ζύμωσης πραγματοποιείται σε στοίβες αλλά και σε δίσκους. Οι στοίβες χρησιμοποιούνται για ζύμωση ποσοτήτων κόκκων κακάο από 25 ως και 2500 kg, γενικότερα όμως όσο πιο μικρή η ποσότητα μάζας κόκκων κακάο που χρησιμοποιείται τόσο καλύτερη είναι η γεύση που διαμορφώνεται. Στη Δυτική Αφρική, μέσα σε 2-3 μέρες από την έναρξη της ζύμωσης, οι αγρότες ανακατεύουν τους κόκκους κακάο έτσι ώστε να αεριστεί η μάζα. Η διάρκεια της ζύμωσης εξαρτάται από τον αγρότη, συνήθως όμως κατά την 5^η ημέρα έρχεται σε πέρας. Επίσης, στην Ακτή Ελεφαντοστού το κακάο ζυμώνεται σε καλάθια. Στην Βραζιλία και στην Ασία, ειδικά στη Μαλαισία, η ζύμωση του κακάο γίνεται συνήθως σε κιβώτια, ενώ στο Εκουαδόρ η ζύμωση γίνεται κυρίως σε πλατφόρμες. Έτσι, η ανάπτυξη και η διαδοχή των μικροοργανισμών, στην περίοδο της ζύμωσης, καθίσταται μεταβλητή και εξαρτάται από την χώρα στην οποία πραγματοποιείται η ζύμωση, η μέθοδος που ακολουθείται και ο τύπος του κακάο που χρησιμοποιείται. Ο τύπος κακάο που θα χρησιμοποιηθεί επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τον χρόνο ζύμωσης. Για παράδειγμα, το κακάο Criollo δεν απαιτεί ζύμωση μεγάλης διάρκειας, αντιθέτως το κακάο

Forastero ή Trinitario χρειάζονται 5 ως 8 ημέρες για τη ζύμωση μέχρι να αναπτυχθεί πλήρως η γεύση. Καταλήγοντας λοιπόν, όλα τα παραπάνω επιδρούν στην γεύση της σοκολάτας. Σε πολλές μελέτες εξετάστηκε πως επιδρά το κιβώτιο στην διαδικασία της ζύμωσης, παρατηρώντας πως τα ξύλινα και τα πλαστικά κιβώτια αποδίδουν ζυμωμένους κόκκους κακάο με τα βέλτιστα χαρακτηριστικά, όσον αφορά τις αγροτικές μονάδες στις οποίες διεξήχθη η μελέτη. Παρόλα αυτά, με στόχο την περαιτέρω βελτιστοποίηση της ζύμωσης, σχεδιάστηκαν ζυμωτήρια με βαθμίδες (σκαλοπάτια) (βλ. Εικόνα 19). Σε αυτή τη μέθοδο ζύμωσης οι κόκκοι είναι δυνατό να αναμιχθούν με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα αλλά και τα υγρά του πολτού μπορούν να διαχυθούν με μεγαλύτερη ελευθερία.



Εικόνα 19: Ζύμωση κόκκων κακάο σε βαθμίδες (πηγή: <https://www.c-spot.com/chocolate-census/bars/bar/?pid=1506>)

Στη Βενεζουέλα, παραδοσιακά, η ζύμωση διεξάγεται με τη χρήση διαφόρων μέσων όπως: τσιμεντένιες λεκάνες, καλάθια, ξύλινα και πλαστικά κιβώτια τα οποία έχουν τη δυνατότητα να στοιβάζονται κλιμακωτά σχηματίζοντας αναβαθμίδες (βλ. Εικόνες 19, 20 και 21). Το κοινό σημείο όλων των παραπάνω περιπτώσεων είναι ότι οι κόκκοι του κακάο σκεπάζονται με φύλλα μπανανιάς.



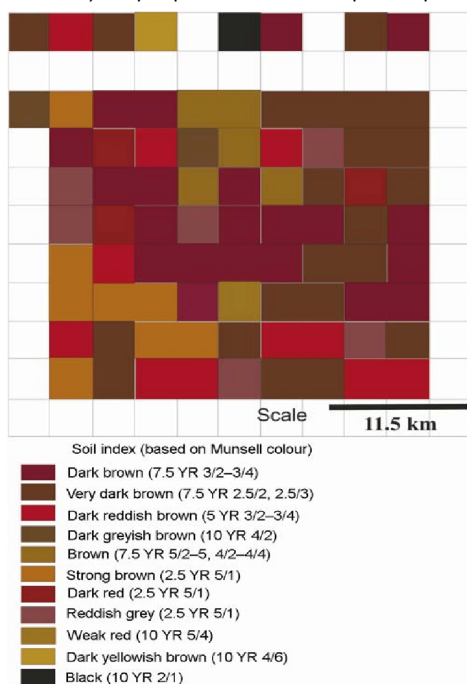
Εικόνα 20 (αριστερά): Ζύμωση κόκκων κακάο σε καλάθια (πηγή: <https://ritzylis.com/did-you-hear-about-ruby-chocolate/>)



Εικόνα 21 (δεξιά): Ζύμωση κόκκων κακάο σε τσιμεντένιες λεκάνες (πηγή: <https://blog.equalexchange.coop/organic-cacao-bean-bar/>)

Η ποικιλία στις γεύσεις του κακάο είναι αποτέλεσμα των διαφορετικών μεθόδων ζύμωσης. Για παράδειγμα, όταν οι κόκκοι ανακατεύονται σε καθημερινή βάση στη μέθοδο ζύμωσης του κιβωτίου, αυτοί λαμβάνουν περισσότερο οξυγόνο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα αερόβια βακτήρια που υπάρχουν (όπως το *Acetobacter* spp.) να διεγείρονται και να παράγουν περισσότερο οξικό οξύ. Ωστόσο, κάποιες αντιδράσεις, όπως αυτές στις οποίες συμμετέχουν ζύμες, όταν βρίσκονται υπό αερόβιες συνθήκες επιβραδύνονται. Αυτό σημαίνει ότι οι ποικιλίες κόκκων που ζυμώνονται σε κιβώτια είναι πιο ευάλωτες στην οξύτητα από τις ποικιλίες που ζυμώνονται με τη μέθοδο της στοίβας. Παρόλα αυτά, αυτό το φαινόμενο μπορεί να ελεγχθεί με την ελάττωση στο ανακάτεμα των κόκκων αλλά και την μείωση του συνολικού χρόνου ζύμωσης.

Οι κόκκοι που δεν έχουν προλάβει να ωριμάσουν και που δεν έχουν υποστεί ζύμωση εμφανίζουν πολύ λίγο άρωμα και γεύση σοκολάτας, ακόμα και μετά τη διαδικασία του καβουρδίσματος, αντιθέτως η υπερβολική ζύμωση προσδίδει μη επιθυμητά αρώματα που παρομοιάζονται με σάπιο ζαμπόν. Το φρουτώδες άρωμα του κακάο, το οποίο αυξάνεται κατά την διαδικασία της ζύμωσης, έχει στενή σχέση με την οξύτητά του. Όπως αναφέρουν οι Wood και Lass (1985), οι κόκκοι κακάο περιέχουν από τη φύση τους ένα μικρό ποσοστό κιτρικού οξέος (0,5% μετά τη ζύμωση και την ξήρανση), το οποίο ενδέχεται να επαρκεί ώστε να προσδώσει κιτρικές νότες. Αυτές οι φρουτώδεις νότες καθώς και τα αρώματα λουλουδιών μπορεί να είναι αποτέλεσμα της παρουσίας υψηλότερων αλκοολών, οι οποίες παράγονται κατά την διάρκεια της ζύμωσης από τις ζύμες.



Εικόνα 22: Ο κατάλογος χρωμάτων Munsell (Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/A-soil-colour-map-for-the-PMR-region-developed-by-using-the-Munsell-colour-charts_fig4_228654456)

Η μέτρηση του βαθμού ζύμωσης μπορεί να πραγματοποιηθεί με την δοκιμή κοπής, η οποία γίνεται είτε χειροκίνητα ή μηχανικά (COVENIN 442-1995). Το χρώμα των κόκκων που έχουν κοπεί συγκρίνεται με τα χρώματα που υπάρχουν στον κατάλογο χρωμάτων Munsell (βλ. εικόνα 22) έτσι ώστε να αξιολογηθεί ο βαθμός ζύμωσης που έχει επιτευχθεί. Ενδιαφέρον σημείο αποτελεί το γεγονός ότι οι κόκκοι κακάο δεν είναι αναγκαίο να ζυμωθούν για βιομηχανικές εφαρμογές εκτός των τροφίμων, αφού μόνο το βούτυρο κακάο είναι αυτό που υπόκειται σε επεξεργασία. Μετέπειτα, το στερεό υλικό που απομένει απορρίπτεται αφού δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί σε τρόφιμα αλλά ούτε και στην παρασκευή σοκολάτας.

2.5 Ξήρανση

Οι ακατέργαστοι ζυμωμένοι κόκκοι εμφανίζουν μεγάλη περιεκτικότητα σε υγρασία, δηλαδή περίπου 40%. Για αυτό τον λόγο απαιτείται η αφυδάτωση τους πριν να μεταφερθούν σε εργοστάσιο σοκολάτας. Παρόλα αυτά ο κύριος λόγος που γίνεται η ξήρανση είναι για να ολοκληρωθεί η διαδικασία της οξείδωσης που είχε ξεκινήσει στην ζύμωση. Έτσι λοιπόν, η ξήρανση παίζει σημαντικό ρόλο στην ελάττωση της στυπτικότητας, της πικράδας και της οξύτητας των κόκκων. Σε αυτό το στάδιο, οι κόκκοι αποκτούν ένα καφέ χρώμα το οποίο οφείλεται στις αντιδράσεις συμπύκνωσης ανάμεσα στις κινόνες και στις πρωτεΐνες οι οποίες λαμβάνουν χώρα μετά την ενζυμική οξείδωση των πολυφαινολών. Σε περίπτωση που οι κόκκοι κακάο δεν αποξηραθούν η σοκολάτα που θα δώσουν θα έχει μια έντονη και δυσάρεστη γεύση (Gutiérrez, 2017).

Η διαδικασία της ξήρανσης αποσκοπεί στην μείωση της περιεκτικότητας σε υγρασία σε επίπεδα που επιτυγχάνεται η ασφαλής αποθήκευση και μεταφορά, δηλαδή μεταξύ 7% και 8%. Όμως, η υπερβολική ξήρανση (υγρασία μικρότερη από 6%) θα έχει σαν αποτέλεσμα πολύ εύθραυστους κόκκους οι οποίοι δυσχεραίνουν την περαιτέρω επεξεργασία. Ένα ακόμα σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η ταχύτητα της ξήρανσης των κόκκων. Αν η ταχύτητα της ξήρανσης είναι πολύ μεγάλη, η εξωτερική επιδερμίδα του κόκκου θα αποξηραθεί πολύ γρήγορα και το εσωτερικό τμήμα του κόκκου θα είναι ακόμα υγρό. Κάτι τέτοιο, θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των επιπέδων της οξύτητας στο κακάο που θα οδηγήσει την απώλεια της εμπορικής του αξίας (Jinap, Thien, & Yap, 1994).

Συνήθως, η ξήρανση γίνεται με έκθεση των κόκκων κακάο στον ήλιο. Οι κόκκοι απλώνονται σε στρώσεις με πάχος 10 εκατοστά περίπου, είτε σε άμεση επαφή με το έδαφος όπου οι κόκκοι μπορεί να είναι διατεταγμένοι σε αναβαθμίσεις, είτε οι κόκκοι να βρίσκονται πάνω σε σανίδες (βλ. Εικόνα 23). Οι κόκκοι ανακατεύονται με την βοήθεια τσουγκράνας σε τακτά χρονικά διαστήματα, όμως όταν επικρατούν υγρές συνθήκες όπως και κατά τη διάρκεια της νύχτας οι κόκκοι σκεπάζονται.



Εικόνα 23: Ξήρανση κόκκων κακάο με έκθεση στον ήλιο (Πηγή: <https://www.britannica.com/topic/cocoa-food/Fermentation>)

Στις Νεοτροπικές χώρες (Κεντρική και Νότια Αμερική και Καραϊβική), χρησιμοποιούνται κινητές οροφές που φέρουν ρόδες οι οποίες προφυλάσσουν τους κόκκους από την βροχή (βλ. Εικόνα 24). Στην Γκάνα, για τον ίδιο λόγο, τοποθετούν τους κόκκους πάνω σε στρώματα φτιαγμένα από μπαμπού, τα οποία μαζεύονται όποτε υπάρχει ο κίνδυνος της βροχής. Ο απαιτούμενος βαθμός υγρασίας (7% έως 8%) επιτυγχάνεται περίπου μετά από 7 μέρες. Βέβαια, όταν οι αποξηραμένοι κόκκοι μεταφερθούν στο εργοστάσιο παραγωγής σοκολάτας, θα πρέπει να εφαρμοστούν ορθές πρακτικές υγιεινής, αφού η ξήρανση στον ήλιο εγκυμονεί κινδύνους επιμόλυνσης από το περιβάλλον.



Εικόνα 24: Ξήρανση κόκκων κακάο με έκθεση στον ήλιο χρήσει κινητών οροφών (Πηγή: https://www.researchgate.net/figure/Miniature-Cocoa-House-used-for-drying-beans-a-Opened-roof-exposing-the-cocoa-beans-to_fig1_327078894)

Σε περιοχές όπως είναι η Ασία, που το κλίμα είναι ιδιαίτερα υγρό, απαιτείται να γίνει τεχνητή ξήρανση. Στην τεχνητή ξήρανση οι κόκκοι είναι απλωμένοι πάνω σε μία πλατφόρμα κάτω από οποία καίγεται ξύλο, με αποτέλεσμα την παραγωγή θερμού ρεύματος αέρα το οποίο περνά μέσα από την πλατφόρμα. Ωστόσο με τη χρήση αυτής της τεχνικής προκύπτει το πρόβλημα της κάπνισης των κόκκων κακάο, που προσδίδει δυσάρεστη γεύση και τους καθιστά μη κατάλληλους για παραγωγή σοκολάτας.

Προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα που αναφέρθηκε παραπάνω, κατασκευάστηκαν τροποποιημένοι ξηραντήρες βασισμένοι σε εναλλάκτες θερμότητας, που εξασφαλίζουν ότι οι κόκκοι του κακάο δεν θα επιμολυνθούν από τον καπνό. Και σε αυτή την περίπτωση ισχύει το γεγονός ότι αν οι κόκκοι ξηραθούν πολύ γρήγορα αποκτούν όξινη γεύση. Για αυτό λοιπόν θα πρέπει να ξηραίνονται σταδιακά, όχι σε υψηλές θερμοκρασίες και για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Στη Βενεζουέλα, ακολουθούνται 4 τύποι ξήρανσης: α) η ξήρανση με τη βοήθεια του ήλιου και η συλλογή των κόκκων σε καθημερινή βάση. Ειδικότερα στο Chuao, στην πολιτεία Aragua, οι κόκκοι ξηραίνονται σε αίθρια με 3 διαφορετικά είδη επιφάνειας που διαφέρουν ως προς την υφή τους, κάτι που διευκολύνει τον διαχωρισμό των φλοιών από τους κόκκους. Ακολουθείται η εξής διαδικασία: την 1^η μέρα οι κόκκοι απλώνονται στην επιφάνεια με την πιο τραχιά υφή. Τις επόμενες μέρες οι κόκκοι μεταφέρονται στην επιφάνεια με την ενδιάμεση υφή και τέλος στην πιο λεία επιφάνεια. Μέχρι να ολοκληρωθεί η ξήρανση, οι εργάτες, κάθε μέρα συλλέγουν τους κόκκους με καλάθια και καρότσια προκειμένου να μην είναι εκτεθειμένα στην βραδινή υγρασία. Αυτή η διαδικασία έχει διάρκεια περίπου 3 με 5 μέρες, ανάλογα με τις συνθήκες του καιρού, β) η προστατευόμενη από στέγη με ρόδες ξήρανση στον ήλιο, γ) η ξήρανση σε θερμοκήπια με τη βοήθεια του ήλιου (βλ. Εικόνα 25), δ) η ξήρανση στον ήλιο με βραδινή προστασία από κινητούς συρμούς.



Εικόνα 25: Ξήρανση κόκκων κακάο σε θερμοκήπιο (Πηγή: <https://www.grenadachocolate.com/tour/ferment/>)

Επιπρόσθετα, η ξήρανση των κόκκων απαιτείται προκειμένου αυτοί να γίνουν βιολογικά σταθεροί, δηλαδή να έλθουν σε μια κατάσταση όπου οι παρόντες μικροοργανισμοί δεν θα μπορούν να πολλαπλασιαστούν. Το επαρκές όριο υγρασίας που θεωρείται ασφαλές είναι 7,2% (Nielsen , και συν., 2007). Κατά την αφυδάτωση, όσο το ελεύθερο νερό ελαττώνεται, τόσο λιγότεροι μικροοργανισμοί θα μπορούν να αναπτυχθούν αλλά και ο αριθμός των βιώσιμων μικροοργανισμών περιορίζεται αρκετά. Ο Carr και άλλοι (1981) απομόνωσαν ζύμες, AAB, LAB και Bacillus spp. στην έναρξη της ξήρανσης, όμως μέχρι να ολοκληρωθεί η διαδικασία και σύμφωνα με τις μεθόδους ανίχνευσης που ακολουθήθηκαν, όλα τα είδη μικροοργανισμών πλην του σπορογόνου Bacillus spp. είχαν εξαλειφθεί. Σε έρευνα από την Βραζιλία παρατηρήθηκαν παρόμοια αποτελέσματα. Τα μέλη του γένους Bacillus και των συγγενικών ομάδων έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν ενδοσπόρια τα οποία κατά περιπτώσεις μπορούν να επιβιώσουν σε ακραίες θερμοκρασίες. Αυτό σημαίνει ότι τα ενδοσπόρια του Bacillus είναι πιθανό να επιβιώσουν κατά την ξήρανση του κακάο, ακόμα και σε βιομηχανικές συνθήκες, πράγμα που θα υποβαθμίσει το κακάο και θα δημιουργήσει προβλήματα ασφάλειας (Gutiérrez, 2017). Το ίδιο μπορεί να συμβεί και με τις μούχλες οι οποίες μπορούν επίσης να αναπτυχθούν υπό συνθήκες χαμηλής ενεργότητας νερού και κατά την αργή ξήρανση. Τα Mucor spp., Penicillium spp., Absidia spp. και Aspergillus spp. έχουν επίσης ανιχνευθεί κατά την ξήρανση αλλά και κατά την αποθήκευση των κόκκων. Κατά το στάδιο την ξήρανσης, ο μύκητες απαγορεύεται να πολλαπλασιάζονται καθώς είναι πιθανό να προκληθούν δυσάρεστες οσμές, να δημιουργεί μούχλα στο εσωτερικό των κόκκων αλλά και να σχηματιστούν μυκοτοξίνες (Nielsen , και συν., 2007).

2.6 Αποθήκευση και μεταφορά

Οι κόκκοι κακάο που έχουν αποξηραθεί, θα πρέπει να αποθηκεύονται σε αποθήκες οι οποίες αερίζονται προκειμένου να μην απορροφήσουν ξανά υγρασία, αφού οι κόκκοι είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στην οξείδωση αν η υγρασία ανέβει σε επίπεδα άνω του 8%. Οι κόκκοι, τις περισσότερες φορές, αποθηκεύονται σε σάκους Hessian (από γιούτα) των 60-65 κιλών, οι οποίοι είναι ανθεκτικοί, βιοδιασπώμενοι, με δυνατότητα να αερίζεται το προϊόν και να στοιβάζονται εύκολα (βλ. Εικόνα 26). Οι σάκοι απαιτείται να αποθηκεύονται σε ξεχωριστό χώρο και μακριά από άλλες ύλες, ιδίως μπαχαρικά και άλλα υλικά με έντονη οσμή, καθώς η σοκολάτα έχει πολύ ευαίσθητη - ντελικάτη γεύση και είναι πολύ εύκολο να απορροφήσει άλλες οσμές. Σε περίπτωση που δεν αποθηκευτούν ξεχωριστά,

άλλες επιθετικές χημικές ουσίες είναι πιθανόν να εισχωρήσουν στο κακάο και να προσδώσουν στην τελική σοκολάτα δυσάρεστη και μη αναμενόμενη γεύση.



Εικόνα 26: Μεταφορά των κόκκων κακάο μέσα σε ειδικούς σάκους (Πηγή: <https://www.sciencephoto.com/media/107834/1/view/unloading-sacks-of-cocoa-at-abidjan-port>)

Οι παραπάνω απαιτήσεις οφείλουν να τηρούνται και στην μεταφορά του κακάο. Κατά προτίμηση, στο φορτηγό πλοίο, οι κόκκοι θα πρέπει να αποθηκεύονται σε ξεχωριστό μέρος από τα υπόλοιπα φορτία και μακριά από εύφλεκτα, επικίνδυνα ή τοξικά χημικά υλικά. Τα εμπορευματοκιβώτια που μεταφέρουν το κακάο θα πρέπει να είναι καθαρά και να μην περιέχουν υπολείμματα από προηγούμενα φορτία, όπως και θα πρέπει να αερίζονται επαρκώς. Ακόμα, τα εμπορευματοκιβώτια που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά του κακάο, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αποκλειστικά και μόνο για αυτή τη δουλειά και όχι για μεταφορά χημικών ουσιών και υλικών που φέρουν ισχυρές οσμές.

Αυτό είναι το σημείο, δηλαδή πριν την πώληση, όπου οι κόκκοι του κακάο που είναι στους σάκους ελέγχονται ως προς την ποιότητά τους. Η ποιότητα των κόκκων ελέγχεται ως προς ορισμένα κριτήρια τα οποία είναι συμφωνημένα σε συμβόλαιο. Κάποια από τα κριτήρια αφορούν το γεγονός ότι οι κόκκοι πρέπει να έχουν υποστεί κατάλληλη ζύμωση, ξήρανση και να απουσιάζουν ξένες οσμές. Ακόμα, θα πρέπει να πληρούνται τα μέγιστα όρια που αφορούν τα ποσοστά των πλατιών κόκκων, των διπλών κόκκων, των σχισμένων κόκκων, των μουχλιασμένων ή φθαρμένων λόγω εντόμων κόκκων, των επιμολυσμένων από ξένα σώματα κόκκων και των κόκκων που έχουν εκβλαστήσει. Τέλος, οι κόκκοι θα πρέπει να πληρούν τα αποδεκτά όρια υγρασίας.

3. Επεξεργασία των ξηρών κόκκων κακάο

Επί της ουσίας, οι χώρες που δραστηριοποιούνται στην παραγωγή του κακάο προτιμούν να επεξεργάζονται τους κόκκους σε κακαόμαζα, λόγω της ευκολίας στη μεταφορά. Όμως, με αυτόν τον τρόπο, ο σοκολατοποιός δεν παίρνει μέρος σε αυτό το στάδιο επεξεργασίας, το οποίο είναι σημαντικό γιατί έχει αντίκτυπο στην γεύση του τελικού προϊόντος. Για αυτό το λόγο, οι παραγωγοί του κακάο προτρέπονται στην εν μέρει επεξεργασία του κακάο, έτσι ώστε το τελικό καβούρδισμα να το πραγματοποιήσει ο σοκολατοποιός.

3.1 Καθαρισμός των κόκκων

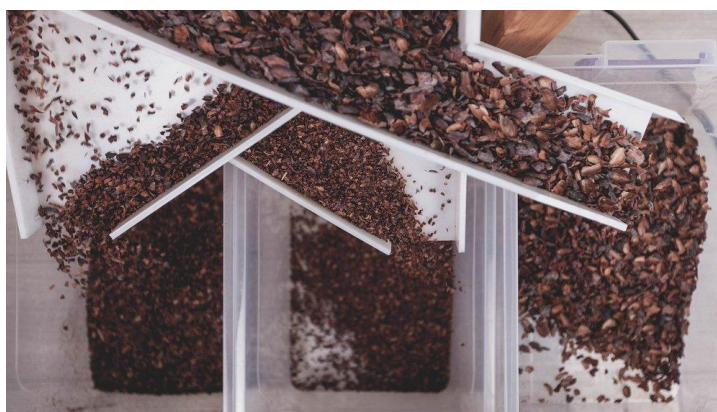
Με την έναρξη της παραγωγικής διαδικασίας, ο πρώτος χειρισμός που θα πρέπει να γίνεται αφορά τον καθαρισμό, δεδομένου ότι οι σάκοι που περιέχουν τους κόκκους θα περικλείουν μαζί και άμμο, πέτρες, μέταλλα, φυτικά υπολείμματα κ.α.. Οι προσμίξεις από ξένα σώματα πρέπει να απομακρυνθούν γιατί: α) κάποια από τα ξένα σώματα είναι άκαμπτα και πιθανόν να προκαλέσουν βλάβη στον εξοπλισμό της άλεσης και β) τα φυτικά υπολείμματα καίγονται με το καβούρδισμα των κόκκων και είναι πιθανό να εκλυθούν αέρια που θα αλλοιώσουν τη γεύση του κακάο. Ο διαχωρισμός των ξένων σωμάτων γίνεται με χρήση αέρα, δόνησης, με το κοσκίνισμα, ο διαχωρισμός των σιδηρούχων μετάλλων γίνεται με χρήση μαγνητών και η απομάκρυνση των ρύπων με χρήση κενού. Τα μηχανήματα καθαρισμού (βλ. Εικόνα 27) εφαρμόζουν συνδυασμό διαφορετικών τεχνικών που προαναφέρθηκαν.



Εικόνα 27: Μηχάνημα καθαρισμού κόκκων κακάο (Πηγή: <https://www.alibaba.com/showroom/co-coa-bean-cleaning-machine.html>)

3.2 Σπάσιμο και λίχνισμα

Οι μηχανές λιχνίσματος (βλ. Εικόνα 28) αφαιρούν τους φλοιούς από τους κόκκους κακάο, μια διαδικασία που είναι δυνατόν να γίνει είτε πριν ή μετά το καβούρδισμα. Το λίχνισμα ακολουθεί τις ίδιες αρχές που εφαρμόζονται και κατά την απομάκρυνση των φλοιών (βλ. Εικόνα 29) από τους σπόρους δημητριακών στην διαδικασία της συγκομιδής. Το λίχνισμα απαιτείται να γίνεται σωστά, αποτελεσματικά και ιδανικά, θα πρέπει να μην σπάνε οι κεντρικοί κοτυληδόνες σε πολύ μικρά κομματάκια τα λεγόμενα nibs καθώς αυτά σε μεγάλο ποσοστό παραμένουν προσκολλημένα στον φλοιό και απομακρύνονται μαζί με αυτόν, με αποτέλεσμα οικονομική απώλεια για τον παραγωγό σοκολάτας. Ωστόσο, οι φλοιοί που απομακρύνονται κατά την αποφλοιώση διατίθενται στο εμπόριο υπό την ονομασία «τσάι κακάο», με την προϋπόθεση ότι έχουν ακολουθηθεί όλες οι ορθές γεωργικές και μεταποιητικές πρακτικές (Gutiérrez, 2017).



Εικόνα 28 (αριστερά): Μηχανή λιχνίσματος (Πηγή: <https://www.selmi-group.com/roastedCocoaBeansCrusher-Winnower.html>)

Εικόνα 29 (δεξιά): Κόκκοι κακάο μετά το λίχνισμα (Πηγή: <https://www.beaucacao.com/bean-to-bar-craft-chocolate>)

3.3 Καβούρδισμα

Το επόμενο στάδιο που απαιτείται να υποβληθούν οι κόκκοι του κακάο είναι το καβούρδισμα. Αυτό γίνεται έτσι ώστε οι πρόδρομες ουσίες του αρώματος που σχηματίζονται στην διαδικασία της ζύμωσης και της ξήρανσης, να μπορούν να προσδώσουν πραγματι γεύση στο τελικό προϊόν. Κατά τη διάρκεια του καβουρδίσματος, το οξικό οξύ και γενικά η οξύτητα των κόκκων ελαττώνεται, εξαιτίας της μείωσης των συγκεντρώσεων των πτητικών ουσιών. Ωστόσο, το καβούρδισμα δεν φαίνεται να έχει κάποια επίδραση στα μη πτητικά οξέα, όπως το οξαλικό, το τρυγικό, το ηλεκτρικό, το κιτρικό και το γαλακτικό

(Afoakwa, Paterson, Fowler, & Vieira, 2008). Επιπλέον λόγοι για τους οποίους γίνεται το καβούρδισμα είναι: α) η μείωση των επιπέδων υγρασίας των κόκκων ώσπου η τελική περιεκτικότητα να φτάσει περίπου το 2%, β) η μείωση του αριθμού των μικροοργανισμών που έχουν επιβιώσει στους κόκκους έως αυτό το στάδιο, γ) η χαλάρωση των φλοιών (αν προηγείται του λιχνίσματος) και δ) η δημιουργία του χαρακτηριστικού καφέ χρώματος της σοκολάτας.

Το καβούρδισμα των κόκκων γίνεται με δύο εκδοχές: είτε καβουρδίζονται οι κόκκοι μαζί με τους φλοιούς (καβούρδισμα ολόκληρου του κόκκου) ή καβουρδίζονται οι κόκκοι χωρίς αυτούς (καβούρδισμα κομματιών του κόκκου (nibs)) (βλ. Εικόνα 30). Το καβούρδισμα ολόκληρου του κόκκου διευκολύνει την αποφλοιώση, όμως για να γίνει αυτό απαιτείται μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας αλλά και ενισχύεται η απομάκρυνση των λιπών τα οποία θα έπρεπε να διατηρηθούν ενσωματωμένα στους φλοιούς.



Εικόνα 30: Κομματάκια κόκκων κακάο (nibs) (Πηγή: <https://www.healthline.com/nutrition/cacao-nibs>)

3.3.1 Καβούρδισμα ολόκληρων των κόκκων

Το καβούρδισμα ολόκληρου του κόκκου, δηλαδή μαζί με τον φλοιό (βλ. Εικόνα 31), καθιστά πιο εύκολο τον διαχωρισμό του φλοιού από τον κόκκο αλλά και το σπάσιμο του κόκκου σε μικρότερα κομματάκια (nibs). Στο καβούρδισμα ολόκληρων των κόκκων, παίζει πολύ μεγάλο ρόλο το μέγεθος των κόκκων για την εξασφάλιση της ποιότητας του τελικού προϊόντος. Στην περίπτωση που οι κόκκοι έχουν πολύ μικρό μέγεθος, με το καβούρδισμα θα καούν. Αν όμως είναι πολύ μεγάλοι, τα κέντρα των κόκκων πιθανώς να μην φτάσουν στην απαραίτητη θερμοκρασία για να καρβουδιστούν. Στο καβούρδισμα κόκκων με διαφορετικό μέγεθος υπάρχουν δύο ακόμα μειονεκτήματα. Πρώτον, με τη θερμότητα που χρησιμοποιείται, το βούτυρο κακάο των κόκκων λιώνει και μέρος αυτού μεταφέρεται στον φλοιό, όπου ενσωματώνεται στον φλοιό και απομακρύνεται μαζί με αυτόν κατά την

αποφλοίωση. Έπειτα από υπολογισμούς, έχει διαπιστωθεί πως το παραπάνω φαινόμενο, μπορεί να προκαλέσει απώλειες σε βούτυρο κακάο έως και 0,5%. Δεύτερον, το καβούρδισμα των κόκκων μαζί με τους φλοιούς απαιτεί έως και 44% παραπάνω ενέργεια από ότι συμβαίνει με άλλες μεθόδους.



Εικόνα 31: Καβούρδισμα ολόκληρων κόκκων κακάο (Πηγή: <https://www.youtube.com/watch?v=4k20IYas2a0>)

3.3.2 Καβούρδισμα των κομματιών των κόκκων και του κακαοπολτού

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί το καβούρδισμα των κομματιών των κόκκων (nibs) και του κακαοπολτού (cocoa liquor), πριν από αυτό θα πρέπει να εφαρμοστεί ένα είδος προ-επεξεργασίας ώστε οι φλοιοί που είναι κολλημένοι πάνω στους κοτυληδόνες να αρχίσουν να αποκολλώνται. Αυτού του είδους η προ-επεξεργασία περιλαμβάνει την πολύ σύντομη έκθεση των κόκκων σε ιδιαίτερα υψηλή θερμοκρασία με την βοήθεια ενός συνεχούς καβουρδιστή ή ενός micronizer (μηχάνημα για την απομάκρυνση των φλοιών μέσω θερμότητας). Έτσι, στην εξωτερική επιφάνεια των κόκκων αυξάνεται η θερμοκρασία, ενώ στο κέντρο παραμένει χαμηλή. Με αυτόν τον τρόπο, αποτρέπεται η έναρξη χημικών αντιδράσεων οι οποίες θα μπορούσαν να έχουν αρνητική επίδραση στη γεύση. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι η γρήγορη εξάτμιση της υγρασίας από το εσωτερικό των κόκκων και η πιο εύκολη απομάκρυνση των φλοιών καθώς αυτοί ωθούνται από μόνοι τους προς τα έξω. Η αποφλοίωση απαιτείται να γίνεται διεξοδικά, εφόσον είναι γνωστό πως πάνω στους φλοιούς συγκεντρώνονται σωματίδια πυριτίου από το έδαφος, τα οποία σωματίδια σε συνδυασμό με την παρουσία των φλοιών είναι πιθανό να προκαλέσουν βλάβη στις μηχανές άλεσης. Επιπρόσθετα, έχουν οριστεί συγκεκριμένα μέγιστα ποσοστά φλοιού που είναι ανεκτό να ενυπάρχουν στην σοκολάτα και στα προϊόντα αυτής. Ακόμα, το λίπος από τους φλοιούς δεν έχει την ίδια χημική σύσταση με το βούτυρο κακάο, με αποτέλεσμα, όταν αυτό μεταφέρεται στην σοκολάτα να της προσδίδει κατώτερη γεύση αλλά και να την κάνει πιο μαλακή.

Το κακάο αγοράζεται χύμα και όχι από έναν συγκεκριμένο προμηθευτή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα μεγέθη των κόκκων να εμφανίζουν ανομοιογένεια μεταξύ τους, πράγμα που υποβαθμίζει την σοκολάτα ποιοτικά. Προκειμένου να αποφευχθεί η ποιοτική υποβάθμιση, συνήθως οι φλοιοί απομακρύνονται πριν το καβούρδισμα, το οποίο διενεργείται με μία από τις δύο ακόλουθες διαδικασίες: α) καβούρδισμα των κομματιών των κόκκων, όπου καβουρδίζονται οι κόκκοι αποφλοιωμένοι και σπασμένοι σε μικρότερα κομμάτια και β) άλεση των κόκκων προς κακαοπολτό (μάζα κακάο) πριν από την διαδικασία του καβουρδίσματος. Χρησιμοποιώντας αυτή τη μέθοδο, με την θέρμανση, το βούτυρο κακάο κατά την εξαγωγή του από τους κόκκους ρευστοποιείται.



Εικόνα 32: Μηχάνημα καβουρδίσματος κόκκων κακάο (Πηγή: <https://www.made-in-china.com/show-room/cn1001545038/product-detail-heGExsJHqyRY/China-Cocoa-Bean-Roasting-Machine-Lq-200X.html> bean roasting machine 2)

3.3.3 Βιομηχανικό καβούρδισμα

Το καβούρδισμα σε βιομηχανική κλίμακα πραγματοποιείται είτε σε παρτίδες είτε με συνεχή τρόπο. Στην διαδικασία αυτή, η θερμοκρασία φτάνει γύρω στους 110 έως 140°C, η οποία και παραμένει σε αυτά τα επίπεδα για χρονικό διάστημα που διαρκεί από 15 λεπτά έως 2 ώρες, μέχρι δηλαδή η υγρασία του κακάο να φτάσει περίπου 3%. Παρόλα αυτά, οι παραπάνω συνθήκες δεν είναι ίδιες παντού, αφού άλλοι συγγραφείς αναφέρουν θερμοκρασίες από 130 έως 150°C και χρονικό διάστημα από 15 έως 45 λεπτά. Έπειτα, εφαρμόζεται ψύξη στους κόκκους με χρήση ψυγείων. Όσον αφορά το συνεχές καβούρδισμα, είναι γνωστό ότι απαιτούνται αρκετά μεγάλες ποσότητες κόκκων.

Για το καβούρδισμα των μικρών κομματιών αλλά και ολόκληρων των κόκκων γίνεται χρήση παρόμοιων μηχανών (βλ. Εικόνα 32). Αντιθέτως, όταν πρόκειται για καβούρδισμα κακαοπολτού, το κακάο θα πρέπει πρωτίστως να έχει αλεστεί και να έχει πάρει μορφή

λεπτής σκόνης η οποία συμπεριφέρεται σαν υγρό. Όσο διαρκεί αυτή η διαδικασία, η υγρασία θα πρέπει να ελέγχεται πολύ σχολαστικά, καθώς η μάζα κακάο μπορεί να καταλήξει να έχει μεγάλο ιξώδες. Ο έλεγχος της υγρασίας θα πρέπει να είναι τόσο αυστηρός γιατί ακόμα και σε χαμηλά επίπεδα υγρασίας (10%) το σύστημα κυτταρίνης-πρωτεΐνης-λίπους είναι πιθανό να γίνει ιδιαίτερα άκαμπτο με αποτέλεσμα να μην είναι κατάλληλο για άλεσμα. Ωστόσο, όταν επικρατούν πολύ χαμηλά επίπεδα υγρασίας, οι πρόδρομες ουσίες που ευθύνονται για τη γεύση μπορεί να μην αλληλεπιδράσουν όπως αναμενόταν, αφού μια μάζα με πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε υγρασία δε θα παρέχει τα επιδιωκόμενα χαρακτηριστικά και έτσι, μεταγενέστερα θα προκύψει μια ποιοτικά κακή σοκολάτα (Gutiérrez, 2017).

3.3.4 Καβούρδισμα και αποφλοίωση: κρίσιμα σημεία ελέγχου

Το κακάο είναι πολύ πιθανό να περιέχει μικροοργανισμούς και ουσίες που αποτελούν βιολογικούς (*Salmonella* spp.) και χημικούς (ΟΤΑ και αφλατοξίνες) κινδύνους (Turcotte, Scott, & Tague, 2013), οι οποίοι διακυβεύουν την ασφάλεια των παραγόμενων προϊόντων. Για αυτό τον λόγο, η εφαρμογή του προγράμματος ανάλυσης κινδύνων και κρίσιμων σημείων ελέγχου (HACCP) στις διαδικασίες επεξεργασίας του κακάο αποτελεί πρωταρχικό μέλημα. Κρίσιμα σημεία ελέγχου (CCP), θεωρούνται η αποφλοίωση και το καβούρδισμα, αφού μετά από αυτό, λόγω των συνθηκών θερμοκρασίας που επικρατούν κατά τη διάρκειά του, το κακάο είναι εντελώς ασφαλές από μικροβιολογικής άποψης. Ακόμα, έχει διαπιστωθεί ότι οι ακαθαρσίες των ακατέργαστων κόκκων μπορεί να μολύνουν άλλους τομείς του εργοστασίου. Έτσι, οι διεργασίες που γίνονται πριν από το καβούρδισμα, πραγματοποιούνται σε κάποιο χώρο ξεχωριστά από τα υπόλοιπα τμήματα του εργοστασίου (βρώμικη ζώνη) και το προσωπικό είναι υποχρεωμένο να φοράει διαφορετικά ρούχα για όσο εργάζεται σε αυτή την ζώνη.

3.3.5 Χημικές μεταβολές κατά το καβούρδισμα

Στην περίπτωση που οι κόκκοι δεν καβουρδιστούν, η σοκολάτα που θα παραχθεί από αυτούς θα έχει πικρή και στυφή γεύση. Με τις υψηλές θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται και την αφυδάτωση που υφίσταται το κακάο κατά το καβούρδισμα, μειώνονται οι συγκεντρώσεις των πολυφαινολών και αποβάλλονται πολλά από τα πτητικά οξέα, όπως το οξικό οξύ, το οποίο φέρει όξινες και στυπτικές ιδιότητες (Gutiérrez, 2017). Παρόλα αυτά, κάποια λιγότερο πτητικά οξέα, όπως το οξαλικό και το γαλακτικό, διατηρούνται ακόμα και

μετά το καβούρδισμα (Awua , 2002). Επίσης, το καβούρδισμα επιταχύνει τις αντιδράσεις αποικοδόμησης των πρωτεϊνών, τις αντιδράσεις Maillard, την σύνθεση θειούχων ενώσεων και την καραμελοποίηση των σακχάρων. Από τις παραπάνω αντιδράσεις προκύπτουν νέες ενώσεις οι οποίες παίζουν ρόλο στο άρωμα, στην γεύση αλλά και στο χρώμα της σοκολάτας. Ο Portillo και άλλοι (2009) κατάφεραν να απομονώσουν 119 πτητικές ενώσεις, που υπάρχουν στο καβουρδισμένο κακάο. Αυτές ανήκουν σε 14 οικογένειες χημικών ουσιών, όπου οι εστέρες, τα οξέα και οι αλκοόλες είναι οι 3 επικρατέστερες από αυτές (Gutiérrez, 2017).

Κατά το καβούρδισμα, η αντίδραση Maillard παίζει καθοριστικό ρόλο για την ανάπτυξη της γεύσης και του αρώματος του κακάο. Η πραγματοποίηση αυτής της αντίδρασης απαιτεί νερό, πεπτίδια, αναγωγικά σάκχαρα, ελεύθερα αμινοξέα, όπως και μέτριες θερμοκρασίες, προκειμένου αυτή να φέρει τα επιθυμητά αποτελέσματα (Namiki & Hayashi , 2002). Για την αντίδραση Maillard, μεγάλης σημασίας συστατικά αποτελούν τα υδρόφοβα αμινοξέα (αλανίνη, τυροσίνη, λευκίνη και φαινυλαλανίνη), τα οποία απελευθερώνονται μετά από δράση της πρωτεϊνάσης στην διαδικασία της ζύμωσης, αλλά και τα αναγωγικά σάκχαρα φρουκτόζη και γλυκόζη, που προκύπτουν από την υδρόλυση της σακχαρόζης (Voigt, και συν., 1994). Τα αρώματα των ξηρών καρπών του κακάο και γενικότερα το κλασικό άρωμα της σοκολάτας οφείλονται στο μεγαλύτερο μέρος στις αλδεΐδες και στις πυραζίνες, οι οποίες είναι πτητικά χημικά προϊόντα που προκύπτουν από την αντίδραση Maillard στο καβούρδισμα. Η γλυκόζη και η λευκίνη προσδίδουν αρωματικές νότες που χαρακτηρίζονται ως «γλυκιά σοκολάτα», η γλουταμίνη, η θρεονίνη και η γλυκόζη με θέρμανση στους 100°C προσδίδουν νότες «σοκολάτας» ενώ η βανιλίνη με την γλυκόζη με θέρμανση στους 180°C προσδίδουν άρωμα που χαρακτηρίζεται ως «διεισδυτική σοκολάτα». Κατά τα τελευταία στάδια της αντίδρασης Maillard, πραγματοποιείται η αλδολική συμπύκνωση και η κυκλοποίηση που προκύπτει καταλήγει στην σύνθεση ετεροκυκλικών αρωματικών πτητικών ενώσεων (π.χ. πυραζίνες), ενώ εξαιτίας του πολυμερισμού συντίθενται χρωστικές μελανοειδίνης. Για παράδειγμα, το πυροσταφυλικό και η βαλίνη προσδίδουν κάποια τελικά προϊόντα τα οποία συνεισφέρουν στον σχηματισμό του αρώματος και της γεύσης του καρυδιού (Stark , Bareuther, & Hofmann, 2005). Το 20% των συνολικών ενώσεων που αντιπροσωπεύουν το άρωμα, αντιστοιχεί στις πυραζίνες, ακολουθούν οι εστέρες και οι υδρογονάνθρακες με ποσοστό 13% για την κάθε ομάδα ενώσεων και τέλος

τα οξέα που αντιστοιχούν στο 11%. Επιπλέον, το καβούρδισμα μπορεί να παίξει ρόλο και στον σχηματισμό νοτών ανθέων στη σοκολάτα, όπως για παράδειγμα, ο σχηματισμός της αρωματικής ένωσης φαινυλακεταλδεΐδης κατά το καβούρδισμα, η οποία ευθύνεται για το άρωμα λουλουδιών/μελιού (Afoakwa, Paterson , Fowler , & Vieira, 2009). Μια ακόμα συνήθης χημική ένωση που φέρει νότες ανθέων και συναντάται στο κακάο που έχει υποστεί καβούρδισμα, είναι η λιναλοόλη. Η λιναλοόλη είναι ένα τερπένιο που φυσικά συναντάται σε πλήθος λουλουδιών και φρούτων, ωστόσο υπάρχουν κάποιες μελέτες που υποστηρίζουν πως ο σχηματισμός αυτής της ένωσης γίνεται κατά την ζύμωση και όχι κατά τη διάρκεια του καβουρδίσματος (Leal, Gomes, Efraim, Figueira, & De Almeida Tavares , 2008).

Καραμελοποίηση ονομάζεται το καφέτιασμα των σακχάρων όταν αυτά θερμαίνονται σε θερμοκρασίες πάνω από τα σημεία τήξης τους, χωρίς την παρουσία πρωτεϊνών ή αμινοξέων. Η συγκεκριμένη αντίδραση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε σε όξινο ή σε αλκαλικό περιβάλλον και αποδίδει πτητικές ενώσεις οι οποίες προσδίδουν γεύση που παρομοιάζεται με αυτήν της καραμέλας και των ξηρών καρπών αλλά και χαρακτηριστικό καφέ χρώμα. Με την αφυδάτωση που υφίστανται τα σάκχαρα δημιουργείται φουρφουράλη και παράγωγα αυτής. Αυτά έχουν την ικανότητα να πολυμερίζονται μεταξύ τους ή και με άλλες παρεμφερείς ενώσεις σχηματίζοντας χρωστικές ουσίες, τις μελανοΐδινες. Ακόμα, σχηματίζονται φουράνες, φουρανόνες, πυρόνες, κετόνες, λακτόνες, εστέρες, πυραζίνες και αλδεΐδες (Gutiérrez, 2017). Τα τελευταία δέκα χρόνια, έχουν ανακαλυφθεί κάποιες ενώσεις οι οποίες σχηματίζονται κατά την αντίδραση Maillard και είναι τοξικές. Σε αυτές τις ενώσεις συμπεριλαμβάνονται μεταξύ άλλων το ακρυλαμίδιο, η υδροξυμεθυλοφουρφουράλη (Morales, 2008) (Caruano & Fogliano , 2011) και άλλες ενώσεις που σχηματίζονται από την αντίδραση Maillard λόγω αντιδράσεων μεταξύ των υδατανθράκων, όπως το φουράνιο. Ωστόσο, αν εμφανιστούν αυτές οι ουσίες κατά τη διάρκεια του καβουρδίσματος, τα προϊόντα που θα παραχθούν από το συγκεκριμένο κακάο δεν είναι εφικτό να απαλλαχθούν από αυτές.

3.4 Άλεση των κόκκων

Οι στόχοι της άλεσης είναι δύο: α) τα σωματίδια του κακάο να γίνουν τόσο μικρά ώστε μετέπειτα, να μπορέσει να αποκτήσει τη μορφή της σοκολάτας που γνωρίζουμε, και

πάνω από όλα κυρίως, β) να αντλήσει τη μέγιστη δυνατή ποσότητα λίπους από τα κύτταρα των κοτυληδόνων.

Η ποιότητα της σοκολάτας καθορίζεται από οργανοληπτικά χαρακτηριστικά όπως είναι το μέγεθος των σωματιδίων αλλά και τα συστατικά του παρασκευάσματος που προκύπτει. Θεμελιώδες χαρακτηριστικό της σοκολάτας αποτελεί το γεγονός ότι είναι στερεό σε θερμοκρασία δωματίου (20-25°C), ενώ λιώνει τάχιστα στο στόμα, δηλαδή σε θερμοκρασία 37°C, όπου μετατρέπεται σε ρευστό με ιξώδες και κοκκώδη υφή, που είναι ευχάριστη στον ουρανίσκο. Το μέγεθος των σωματιδίων καθορίζεται από τον τύπο της σοκολάτας που θα παραχθεί αλλά και από τα συστατικά που θα χρησιμοποιηθούν. Γενικά ισχύει, ότι το μέγεθος των σωματιδίων της εκλεκτής σοκολάτας κυμαίνεται από 18 έως 25 μm, ενώ η πιο αδρή σοκολάτα αποτελείται από σωματίδια μεγέθους 35 έως 50 μm (Gutiérrez, 2017). Από τις διαδικασίες επεξεργασίας της σοκολάτας, ο εξευγενισμός (λεπτή άλεση) και το κονσάρισμα παίζουν τον πιο καθοριστικό ρόλο ως προς το μέγεθος των σωματιδίων, όπως επίσης και οι δύο διεργασίες επηρεάζουν τις ιδιότητες ροής του εναιωρήματος και επιδρούν στην υφή και στις οργανοληπτικές ιδιότητες του προϊόντος (Afoakwa, Paterson, Fowler, & Ryan, 2008).

Η διάσπαση των κόκκων κακάο σε ψιλή σκόνη πραγματοποιείται με την χρήση τριών τύπων μύλων : α) κυλινδρόμυλους, οι οποίοι σπάνε τους κόκκους σε μικρότερα κομματάκια ή σε nibs, β) μύλους με ακίδες (κρούσης) που μετασχηματίζουν τα κομματάκια σε πολτό κακάο, και γ) σφαιρόμυλους που μειώνουν περαιτέρω το μέγεθος παράγοντας ένα ρευστό με μια πιο απαλή και μεταξένια υφή. Προκειμένου να παραχθεί ένα λείο και μη κοκκώδες προϊόν, οι κόκκοι του κακάο αλέθονται ώστε να έχουν μέγεθος από 0,5 cm έως λιγότερο από 30 μm, παρόλο που για την παρασκευή διαφόρων ειδών σοκολάτας πολλές φορές απαιτείται η προσθήκη συστατικών που αποτελούνται από μεγαλύτερους κόκκους. Μέσω του εξευγενισμού με κυλινδρόμυλους επιτυγχάνεται η μείωση των σωματιδίων περίπου 18-20 μm.

Προκειμένου η σοκολάτα να είναι λεία, απαιτείται η πρόσμιξη λιπών κατά την παρασκευή της αλλά και στο ίδιο το τελικό προϊόν. Τα λίπη είναι ενσωματωμένα στα κύτταρα των κοτυληδόνων και τα σωματίδια αυτών κατά μέσο όρο έχουν μήκος 20-30 μm και πλάτος/ύψος 5-10 μm. Μέσω της άλεσης, τα κύτταρα διασπώνται με αποτέλεσμα το λίπος να απομακρύνεται από το εσωτερικό τους και να καλύπτει τα μη-λιπαρά στερεά σωματίδια

της σοκολάτας. Κατά το τέλος της άλεσης, όπου δεν υπάρχει δυνατότητα να εξαχθεί άλλο λίπος, με το να διεξαχθεί περαιτέρω άλεση το μόνο που θα επιτευχθεί είναι να δημιουργηθούν νέες επιφάνειες για να καλυφθούν με λίπος, με αποτέλεσμα το ρευστό κακάο να γίνει και πάλι πυκνό.

Τα κυτταρικά τοιχώματα των κοτυληδόνων περιέχουν μεγάλες ποσότητες κυτταρίνης η οποία εμποδίζει πολλούς τύπους λιπών να εισχωρήσουν σε αυτά. Μια μικρή ποσότητα υγρασίας στο ρευστοποιημένο κακάο διευκολύνει όσα περιεγράφηκαν παραπάνω και έτσι τα λίπη απομακρύνονται με μεγαλύτερη ευκολία. Ωστόσο, κατά τη διάρκεια του καβουρδίσματος γενικότερα προτιμάται η υγρασία να είναι ελάχιστη έτσι ώστε η ροή της μάζας του κακάο να είναι εύκολη. Στο εσωτερικό των κυττάρων των κοτυληδόνων του κακάο συνυπάρχουν δύο τύποι γαλακτώματος: 1) γαλάκτωμα νερού/λίπους και 2) γαλάκτωμα λίπους/νερού. Αυτές οι πολύ μικρές σταγόνες είναι δυνατόν να σταθεροποιηθούν με την προσθήκη κάποιων τύπων φωσφογλυκεριδίων (φωσφολιπιδίων), τα οποία σχηματίζουν ένα στρώμα που χωρίζει το νερό και το λίπος, με αποτέλεσμα να δημιουργείται έτσι το γαλάκτωμα.

3.4.1 Μύλοι (κρούσης) με ακίδες

Οι μύλοι αυτοί εφαρμόζουν δυνάμεις κρούσης και κάνουν χρήση ράβδων, ακίδων ή ταχέως κινούμενων σφυριών (βλ. Εικόνα 33). Το κακάο που έχει πάρει τη μορφή θραυσμάτων εναποτίθεται σε πλέγματα, όπου τα μικρότερα θραύσματα, μαζί με το βούτυρο κακάο που έχει λιώσει λόγω υψηλών θερμοκρασιών, διαπερνούν το πλέγμα. Αντίθετα, τα θραύσματα που έχουν μεγαλύτερο μέγεθος συνεχίζουν να βρίσκονται μέσα στον μύλο μέχρι να θρυμματιστούν σε μεγαλύτερο βαθμό από την επόμενη σειρά σφυριών. Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι το 90% των σωματιδίων να είναι 18 έως 50 μm.



Εικόνα 33: Μύλοι με ακίδες (Πηγή:

https://www.alibaba.com/product-detail/Wanda-Cocoa-Bean-Cake-Fine-Powder_60831516642.html)

3.4.2 Μύλοι σφαιρών

Σχεδόν σε όλες τις χώρες, η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την άλεση του κακάο είναι ο σφαιρόμυλος από ανοξείδωτο χάλυβα (βλ. Εικόνα 34). Οι σφαιρόμυλοι μπορούν να λειτουργήσουν μόνο με ρευστά, όποτε η χρήση τους εφαρμόζεται μετά τους μύλους με ακίδες. Οι σφαιρόμυλοι αποτελούνται από πολλές σφαίρες που είναι μέσα σε κυλίνδρους οι οποίοι με τη σειρά τους είναι τοποθετημένοι περιμετρικά από έναν άξονα. Με την περιστροφή των κυλίνδρων και του κεντρικού άξονα επιτυγχάνεται η σύγκρουση των σφαιρών μεταξύ τους. Κατά την περιστροφή, τα σωματίδια του κακάο παγιδεύονται μεταξύ των σφαιρών και έτσι αλέθονται ή διαχωρίζονται εξαιτίας της δράσης της διάτμησης. Οι σφαίρες που κυλούν προωθούν τα πιο μικρά σωματίδια γρηγορότερα μέσα στο λίπος ενώ τα μεγαλύτερα σωματίδια, που κινούνται πιο αργά, αφήνονται να αλεστούν. Όταν είναι επιθυμητό να παρασκευαστεί παχύρρευστη μάζα κακάο όπου τα θραύσματα θα έχουν πλάτος αρκετά εκατοντάδες μικρόμετρα, οι διάμετρος των σφαιρών μπορεί να φτάσει έως και τα 15 mm. Από την άλλη, όταν είναι επιθυμητή η λιγότερο ρευστή υφή, τότε τίθενται σε εφαρμογή περισσότεροι σφαιρόμυλοι και ο καθένας έχει μικρότερες σφαίρες (ελάχιστο πλάτος 2 mm). Γενικότερα, οι μικρότερες μπάλες εφάπτονται πιο σφιχτά μεταξύ τους, με αποτέλεσμα να αυξάνονται οι πιθανότητες να παγιδευτεί ανάμεσά τους κάποιο θραύσμα. Επιπλέον, όταν χρησιμοποιούνται μικρότερες σφαίρες η ταχύτητα περιστροφής είναι μεγαλύτερη. Έτσι λοιπόν, ο συγκεκριμένος τύπος μύλου καταφέρνει να επιτυγχάνει λεπτότητα σωματιδίων έως και 99%.



Εικόνα 34: Μύλος σφαιρών (Πηγή: http://www.tecno-3.it/en/prodotto_1_5.html)

3.4.3 Δισκομύλοι

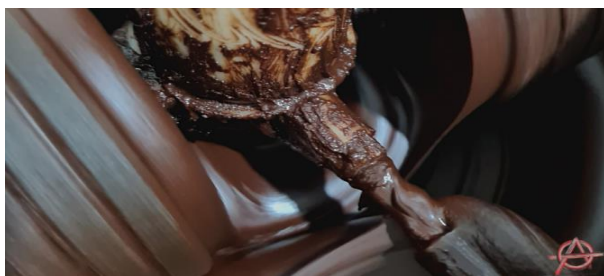
Η διάταξη των δισκομύλων συνήθως περιλαμβάνει 3 έως 5 ζεύγη αντικριστών δίσκων και το κάθε ζεύγος συνίσταται από έναν περιστρεφόμενο και έναν ακίνητο δίσκο (βλ. Εικόνα 35). Η ρευστοποιημένη μάζα κακάο εισάγεται από το κεντρικό άνω μέρος ανάμεσα στους δίσκους, οι οποίοι στη συνέχεια πιέζονται μεταξύ τους. Έτσι, μια μεγάλη ποσότητα λίπους απελευθερώνεται εξαιτίας της διάτμησης η οποία κονιορτοποιεί τα θραύσματα. Έπειτα, η ρευστοποιημένη μάζα κακάο περνάει μέσα από έναν αγωγό στο κέντρο των δίσκων. Αντιθέτως με τους μύλους σφαιρών, οι δισκομύλοι μπορούν να λειτουργήσουν με στερεά ή με ρευστά, ωστόσο είναι απαραίτητο να έχει συμβεί μια προ-άλεση.



Εικόνα 35: Μύλος με δίσκους (Πηγή: <https://www.directindustry.com/prod/proxes-gmbh/product-67556-566312.html>)

3.5 Συσκευασία και αποθήκευση του κακαοπολτού (Cocoa paste or liquor)

Όταν ο κακαοπολτός (βλ. Εικόνα 36) έχει αποκτήσει την επιθυμητή ποιότητα, γίνεται ομογενοποίηση, αποθήκευση σε ανοξείδωτη δεξαμενή (βλ. Εικόνα 37), στους 40-45°C, θερμοκρασία η οποία διατηρείται έως το επόμενο στάδιο επεξεργασίας. Σε γενικές γραμμές, για την συσκευασία της πάστας χρησιμοποιούνται σάκοι πολυαιθυλενίου υψηλής πυκνότητας οι οποίοι τοποθετούνται σε χαρτοκιβώτια. Σε αυτό το στάδιο, διεξάγεται ο ποιοτικός έλεγχος ο οποίος εξαρτάται από την χρήση για την οποία προορίζεται το τελικό προϊόν (Gutiérrez, 2017).



Εικόνα 36: Ο κακαοπολτός που προκύπτει στο τέλος της άλεσης (Πηγή: <https://anarchy-chocolate.com/grinding-conching-cocoa-beans/>)



Εικόνα 37: Δεξαμενή αποθήκευσης κακαοπολτού (Πηγή: https://www.alibaba.com/product-detail/High-Capacity-Chocolate-Paste-Storage-Holding_60797589484.html)

4. Παραγωγή βούτυρου κακάο και σκόνης κακάο

4.1 Βούτυρο κακάο

Η σύσταση της μάζας κακάο περιέχει περίπου 47-56% βούτυρο κακάο το οποίο εξάγεται μέσω φυσικής διεργασίας με σκοπό τόσο την ανάκτηση του βούτυρου κακάο όσο και της σκόνης κακάο. Στην αρχή της διαδικασίας το περιεχόμενο σε βούτυρο κακάο των κόκκων είναι 55% και η μεγαλύτερη ποσότητα αυτού (περισσότερο από το ήμισυ) εξάγεται από την πρέσα (Beckett, 2017). Η διεργασία αυτή περιλαμβάνει τη χρήση οριζόντιων υδραυλικών πρεσών για την συμπίεση αλκαλοποιημένων και μη αλκαλοποιημένων μαζών κακάο (Gutiérrez, 2017). Τοποθετείται προθερμασμένη μάζα κακάο σε δοχεία, περίπου 16-18 δοχεία ανά μηχανή, η πίεση σταδιακά αυξάνεται (περίπου 400-500 bar για 15 λεπτά) (Beckett, 2017) και με αυτόν τον τρόπο το βούτυρο κακάο εκλύεται μέσω της πρέσας (βλ. Εικόνα 39), ενώ τα εναπομείναντα σωματίδια κακάο παραμένουν στην πρέσα σχηματίζοντας τις λεγόμενες «πίτες» κακάο (βλ. Εικόνα 38). Η περιεκτικότητα των «πιτών» σε λίπος τελικά είναι 8-24% (Gutiérrez, 2017), αλλά είναι δυνατή η τροποποίηση της σύστασης για την επίτευξη του επιθυμητού ποσοστού λίπους. Όταν αυτό πραγματοποιείται η πρέσα ανοίγει και το κακάο που βρίσκεται σε στερεή κατάσταση συλλέγεται. Το βούτυρο κακάο περνά από κόσκινο και στη συνέχεια σε ζυγαριά μέσω σωλήνα όπου και ζυγίζεται (Beckett, 2017).



Εικόνα 38: Πρεσαρισμένες «πίτες» κακάο
(Πηγή: <https://www.global-organics.com/post.php?s=2017-04-05-finding-the-right-type-of-cocoa-powder>)



Εικόνα 39: Εξαγωγή βουτύρου κακάο μέσω πρέσας (Πηγή: <https://www.nutmachines.com/nuts-grinder/cocoa-butter-press-machine.html>)

Υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής χαμηλής ποιότητας βούτυρο κακάο με συμπίεση ολόκληρων μη αποφλοιωμένων κόκκων κακάο. Τις περισσότερες φορές, οι χρησιμοποιούμενοι κόκκοι δεν είναι κατάλληλοι για την παρασκευή σοκολάτας λόγω κακής ποιότητας η οποία οφείλεται είτε σε κακές συνθήκες ζύμωσης, είτε σε όξινη γεύση που έχουν λόγω ανεπαρκούς ξήρανσης ή/και καβουρδίσματος. Επιπρόσθετα, το λίπος που περιέχουν είναι μεγαλύτερης πολυπλοκότητας από αυτό του βουτύρου κακάο και αν τα δύο αυτά λίπη αναμιγνύονταν κατά την φάση της συμπίεσης, θα δημιουργούταν ένα ευτηκτικό σύστημα με ιδιαίτερα αρνητικό αντίκτυπο στη σκληρότητα και τις δομικές ιδιότητες του βουτύρου κακάο. Οι συμπιεσμένες «πίτες» κακάο που λαμβάνονται από ολόκληρους κόκκους είναι χαμηλής ποιότητας και χρησιμοποιούνται κυρίως ως ζωοτροφή. Αν απομείνει σε αυτές κάποιο κατάλοιπο βουτύρου κακάο αυτό μπορεί να παραληφθεί και να εκμεταλλευτεί με τη χρήση υπερκρίσιμων υγρών ή διαλυτών (Gutiérrez, 2017).

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει θέσει σαφείς κανονισμούς όσο αφορά το βούτυρο κακάο και παρόλο που η διαδικασία διαχωρισμού δεν ρυθμίζεται με συγκεκριμένο τρόπο, η Ομοσπονδία Εμπορίου Κακάο δίνει συγκεκριμένες κατευθύνσεις διαχωρίζοντας το βούτυρο κακάο σε κατηγορίες. Αυτές οι κατηγορίες είναι το βούτυρο κακάο πρέσας, βούτυρο κακάο εξωθητή δηλαδή το λίπος που λαμβάνεται με φυσική αφαίρεση χρήσει εξωθητή, κομμάτια ή μάζα βουτύρου κακάο, πρεσαρισμένες πίτες κακάο, καθώς και εξευγενισμένο βούτυρο κακάο. Η τελευταία περίπτωση αφορά βούτυρο κακάο εκχυλισμένο μέσω πρέσας, εξωθητή ή διαλύτη και εν συνεχεία εξευγενισμένο με εξουδετέρωση χρήσει αλκαλικού διαλύματος. Στη συνέχεια ακολουθεί αποχρωματισμός χρήσει μπεντονίτη και ενεργού

άνθρακα καθώς και απόσμηση. Τέλος, είναι δυνατή η λήψη του βουτύρου κακάο μέσω εκχύλισης με διαλύτη (Beckett, 2017).

Το βούτυρο κακάο πρέπει να πληροί τα απαιτούμενα πρότυπα και κριτήρια τα οποία είναι, περιεκτικότητα ελεύθερων λιπαρών οξέων στο 1,75%, αφού διαφορετικά θα μεταβληθούν οι ιδιότητες πήξης της σοκολάτας και μέγιστη τιμή αριθμού σαπωνοποίησης (SAP) 0,5% έτσι ώστε η γεύση της σοκολάτας να μην θυμίζει αυτή του σαπουνιού. Η SAP αφορά την ποσότητα υδροξειδίου του καλίου ή του νατρίου που απαιτείται για σαπωνοποίηση 1 g συγκεκριμένου ελαίου ή λίπους. Επειδή το βούτυρο κακάο έχει μεγάλη συμβολή στην τελική γεύση της σοκολάτας, σε μερικά προϊόντα και κυρίως στη λευκή σοκολάτα η αρχική αυτή γεύση χωρίς περαιτέρω επεξεργασία θεωρείται δυσάρεστη και καθίσταται αναγκαία η απόσμηση του βουτύρου κακάο. Σε γενικά πλαίσια, χρησιμοποιούνται τρία διαφορετικά βούτυρα κακάο που προέρχονται από διαφορετική επεξεργασία και έχουν διαφορετικές χρήσεις. Αρχικά είναι το φυσικό βούτυρο κακάο το οποίο δεν έχει υποστεί όπως είναι λογικό απόσμηση και η χρήση του συνίσταται αποκλειστικά για την παραγωγή σοκολάτας. Έπειτα προκύπτει βούτυρο κακάο με μερική απόσμηση, το οποίο έχει μέτρια ένταση αρώματος κακάο που χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο για γλυκά παράγωγα σοκολάτας και παγωτά και τέλος με πλήρη απόσμηση το οποίο παράγεται με φυσική διεργασία η οποία δεν μεταβάλλει την υψηλή φυσικοχημική του ποιότητα και χρησιμοποιείται ευρέως στην παραγωγή σοκολάτας, καθώς συμβάλλει σημαντικά με την παρουσία του στη σύσταση προκειμένου το τελικό προϊόν να έχει καλύτερη υφή και κρυστάλλωση χωρίς να επηρεάζει κάπως το αρωματικό προφίλ της εκάστοτε ποικιλίας. Μια επιπλέον χρήση του είναι στην παρασκευή φαρμακευτικών προϊόντων και καλλυντικών (Gutiérrez, 2017).

Η αποθήκευση του βουτύρου κακάο πραγματοποιείται τόσο σε στερεή όσο και σε υγρή μορφή, ως ενιαίο τεμάχιο σε χαρτοκιβώτια με εσωτερική επένδυση πολυαιθυλενίου ή σακούλα των 25 kg. Σημαντικός παράγοντας για την αποθήκευση του βουτύρου κακάο είναι η υψηλή ικανότητα συντήρησης σε στερεά κατάσταση (έως και ένα έτος) και ιδιαιτέρως όταν η αποθήκευση πραγματοποιείται υπό καλές συνθήκες (έως και δύο έτη). Ωστόσο αν το βούτυρο έχει υποστεί εξευγενισμό τότε η διάρκεια ζωής του μειώνεται σε έξι μήνες. Στην υγρή κατάσταση του το βούτυρο κακάο έχει μικρότερη διάρκεια ζωής από η

στερεά (μέχρι ένα μήνα), αφού υπάρχει σοβαρός κίνδυνος οξείδωσης των λεπτών στιβάδων του βουτύρου γεγονός που καθιστά την αποθήκευση σε υγρή μορφή δύσκολη. Σε περίπτωση που επιθυμείται παρόλα αυτά είναι επιτακτική η χρήση υγρού αζώτου για την επέκταση του χρόνου ζωής του βουτύρου, αποφεύγοντας έτσι την οξείδωση προερχόμενη από τον αέρα του περιβάλλοντος (Beckett, 2017).

4.2 Σκόνη κακάο

Προέρχεται από άλεση της πρεσαρισμένης πίτας κακάο η οποία κατά την έξοδο της από το πιεστήριο περνάει από μύλο με ακίδες που το κονιορτοποιεί σε κομμάτια μέγιστου πλάτους 3 cm με χρήση δύο κυλίνδρων με πύρους οι οποίοι περιστρέφονται προς αντίθετες κατευθύνσεις. Στη συνέχεια τα κονιορτοποιημένα κομμάτια ψύχονται και αλέθονται περαιτέρω σε λεπτή σκόνη που προωθείται με ρεύμα αέρα μέσω σωλήνα ενώ το εναπομείναν λίπος πρέπει να αφηθεί σε ηρεμία ώστε να στερεοποιηθεί πριν από τη συσκευασία ώστε να μην κολλήσουν τα σωματίδια μεταξύ τους μετά το διαχωρισμό αφού το λίπος έπειτα από την άλεση βρίσκεται ακόμα σε υγρή κατάσταση (Gutiérrez, 2017).

Είναι δυνατή η παραγωγή μιας ποικιλίας διαφορετικών σκονών με διαφορετικές εφαρμογές και πολλά διαφορετικά χαρακτηριστικά. Βασικό παράγοντα κατηγοριοποίησης αποτελεί η εναπομένουσα περιεκτικότητα σε λιπαρά. Γενικά, η περιεκτικότητα λιπαρών της σκόνης κακάο παίρνει τιμές από 10-12% έως 22-24%. Σε περίπτωση που απαιτείται περιεκτικότητα λιπαρών μικρότερη του 10%, τότε πραγματοποιείται περαιτέρω εκχύλιση είτε με τη χρήση διαλυτών είτε CO₂ είτε συνδυασμό αυτών, ενώ σε περίπτωση που επιθυμείται περιεκτικότητα άνω του 30% εκτελούνται διαφορετικές τεχνικές όπως η κρυογενική άλεση της μάζας κακάο. Η τελική περιεκτικότητα θα καθοριστεί με τη σειρά της από άλλους παράγοντες όπως η τιμή, η νομοθεσία, η οπτική εμφάνιση, η γεύση, το χρώμα και τη φυσική συμπεριφορά.

- Τιμή: όσον αφορά την τιμή του προϊόντος, το κόστος των σκονών υψηλής περιεκτικότητας σε λιπαρά είναι μεγαλύτερο.
- Νομοθεσία: είναι απαραίτητη η τήρηση των κανόνων επισήμανσης για τα διαφορετικά είδη σοκολάτας, καθώς η νομοθεσία απαιτεί διαφορετικές περιεκτικότητες λιπαρών σε κάθε διαφορετικό είδος.

- Οπτική εμφάνιση: είναι πολύ σημαντικός ο τρόπος αναδιαμόρφωσης του λίπους στη συνέχεια των διεργασιών καθώς λανθασμένος χειρισμός μπορεί να οδηγήσει αλλαγή στην οπτική εμφάνιση του προϊόντος, δημιουργία του “εξωτερικού χρώματος” και σχηματισμό σβώλων. Ουσιαστικά αυτό που συμβαίνει στην εξωτερική επιφάνεια της σοκολάτας οφείλεται σε “άνθιση” του λίπους και δίνει μία πιο ανοιχτή οπτική εμφάνιση.
- Γεύση: σε μερικές περιπτώσεις οι σκόνες κακάο με μεγαλύτερη περιεκτικότητα λιπαρών δίνουν καλύτερα γευστικά χαρακτηριστικά στο τελικό προϊόν.
- Χρώμα: σκόνες υψηλής περιεκτικότητας λιπαρών έχουν πιο σκούρο χρωματισμό από αυτές χαμηλής περιεκτικότητας.

Εκτός από την περιεκτικότητα λίπους της σκόνης κακάο, κατηγοριοποίηση πραγματοποιείται και με βάση το χρώμα της σκόνης το οποίο μπορεί να ποικίλλει από καφέ χρωματισμό της φυσικής μη αλκαλοποιημένης σκόνης, προς σκούρο καφέ ή κοκκινωπό χρωματισμό, ενώ έχουν επιτευχθεί ακόμα και μαύρα χρώματα. Η γεύση επίσης παίζει σημαντικό ρόλο, αφού ανάλογα με τις προστιθέμενες ύλες (π.χ. βανιλίνη) μπορούν να επιτευχθούν εξατομικευμένες γεύσεις (Beckett, 2017). Πραγματοποιείται χρήση μεγάλων ποσοτήτων σκόνης κακάο για παρασκευή ροφημάτων σοκολάτας με προστιθέμενη ζάχαρη και λεκιθίνη. Η προσθήκη της λεκιθίνης μπορεί να γίνει στις αρχικές πρεσαρισμένες πίτες κακάο και να αλεσθεί ταυτοχρόνως μαζί τους, διασφαλίζοντας τη σωστή ανάμιξη της με τη σκόνη κακάο. Η λεκιθίνη αποτελεί έναν γαλακτωματοποιητή και είναι ένα φωσφολιπίδιο το οποίο στη σοκολάτα χρησιμοποιείται για να μειώσει τη διεπιφανειακή τάση μεταξύ του βουτύρου κακάο και των μη λιπαρών σωματιδίων όπως η ζάχαρη, ρευστό κακάο και γάλα με σκοπό την αποτροπή του σχηματισμού συσσωματωμάτων (σβώλων). Επίσης με την προσθήκη της μειώνεται η απαραίτητη ποσότητα βουτύρου κακάο που χρειάζεται για την κάλυψη της μεγάλης επιφάνειας των στερεών σωματιδίων. Έτσι μέρος του βουτύρου κακάο απελευθερώνεται και μπορεί να λειτουργήσει ως μέσο αιώρησης με αποτέλεσμα τη μείωση του ιξώδους της σοκολάτας. Παρόλα αυτά υπάρχει μέγιστο επιτρεπόμενο όριο στη χρήση της λεκιθίνης με αυτόν τον τρόπο. Ο ρόλος της λεκιθίνης θα αναλυθεί και παρακάτω.

4.3 Αλκαλοποίηση (Dutching)

Αρχικά η αλκαλοποίηση πραγματοποιούνταν με σκοπό την αύξηση των ιδιοτήτων διασποράς της σκόνης κακάο σε γάλα ή νερό. Τώρα πια η αλκαλοποίηση των κόκκων κακάο, του κακαοπολτού ή των κομματιών κακάο (nibs), πραγματοποιείται με σκοπό την ενίσχυση του χρώματός τους ενώ επηρεάζει ταυτόχρονα τόσο το άρωμα όσο και τη γεύση του κακάο στη συνέχεια (Gutiérrez, 2017). Η αλκαλοποίηση που πραγματοποιείται σε κομματάκια κακάο (nibs), είναι πιο κοστοβόρα συγκριτικά με αυτή σε κακαοπολτό και κόκκους κακάο καθώς υπάρχει κίνδυνος σαπωνοποίησης του βουτύρου κακάο. Η προσθήκη του αλκαλίου αυξάνει τον αριθμό σαπωνοποίησης και ενδέχεται να λάβει τιμές άνω των επιτρεπτών με δυσμενή αποτελέσματα τόσο στην μετέπειτα διεργασία αναδιαμόρφωσης του λίπους όσο και στη γεύση της σοκολάτας. Για αυτό το λόγο εφαρμόζεται προεπεξεργασία εξευγενισμού και απόσμησης που απαιτεί την προμήθεια περαιτέρω εξοπλισμού, γεγονός που αυξάνει αντιστοίχως το κόστος αλκαλοποίησης (Moser , 2015).

Κατά τη διαδικασία αλκαλοποίησης τα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά επηρεάζονται από διαφορετικούς παράγοντες όπως η πίεση, η θερμοκρασία, το pH, η συγκέντρωση και η ποσότητα του αλκαλίου που προστίθεται καθώς τόσο το ίδιο το αλκάλι όσο και οι διαφορετικοί συνδυασμοί των παραπάνω δίνουν μία ποικιλία αποχρώσεων του κακάο(βλ. Εικόνα 40) (Li, et al., 2014). Διατίθενται διαφορετικοί τύποι αλκαλίων τα οποία ανάλογα με την ένωση που χρησιμοποιείται και τη συγκέντρωσή της έχουν διαφορετικό αντίκτυπο στο χρώμα και τη γεύση του τελικού προϊόντος.



Εικόνα 40: Διαφοροποίηση των αποχρώσεων κακάο ανάλογα με την αλκαλοποίηση (Πηγή: <https://alitoools.io/en/showcase/gluten-free-dark-color-low-fat-cocoa-powder-25-kg-10000147980297>)

Στο κακάο περιέχονται πολυφαινόλες όπως οι ανθοκυανίνες, οι προκυανιδίνες, οι κατεχίνες και οι τανίνες οι οποίες κατά την αλκαλοποίηση μετατρέπονται σε κινόνες που

υφίστανται πολυμερισμό προς αδιάλυτες καφέ ενώσεις με υψηλό μοριακό βάρος που προσδίδουν πιο σκούρο καφέ χρώμα. Έχει φανεί ότι κατά την αλκαλοποίηση η μείωση του ολικού πολυφαινολικού περιεχομένου που παρατηρείται έχει ως αποτέλεσμα μια πιο έντονη σκούρα απόχρωση του καφέ χρώματος του κακάο αλλά και τη μείωση της στυπτικότητας, λόγω του πολυμερισμού των φλαβονοειδών, που αναφέρθηκε προηγουμένως, όπως οι ανθοκυανίνες (διαφορετικές διαμορφώσεις αναλόγως με το pH). Σε περίπτωση που επιθυμείται να περιέχεται κόκκινος χρωματισμός πραγματοποιείται και αερισμός για την οξείδωση των ανθοκυανινών και το σχηματισμό κόκκινης χρωστικής. Σε γενικές γραμμές λοιπόν, η σκόνη κακάο παρουσιάζει διαφορετικά χρώματα αναλόγως με τις επιλεγόμενες συνθήκες πίεσης, θερμοκρασίας, συγκέντρωσης αλκαλίων και του χρόνου αντίδρασης. Με αύξηση των προαναφερθέντων συνθηκών λοιπόν, λόγω του πολυμερισμού των φλαβονοειδών, της μείωσης του ολικού πολυφαινολικού περιεχομένου και των αντιδράσεων Maillard, προκύπτει πιο σκούρος καφέ χρωματισμός του κακάο (Li, et al., 2014).

Συνήθως η σκόνη κακάο παράγεται από αλκαλοποιημένες πρεσαρισμένες “πίτες” κακάο, ενώ η σοκολάτα παράγεται από μη αλκαλοποιημένο κακαοπολτό. Το κύριο αλκαλικό διάλυμα που χρησιμοποιείται είναι το ανθρακικό κάλιο που αποτελεί μια ασθενή βάση και το οποίο ενσωματώνεται στους κόκκους πριν τη διαδικασία του καβουρδίσματος. Παρόλα αυτά είναι δυνατή η ενσωμάτωσή του απευθείας στο ρευστό κακαοπολτό ή στη σκόνη κακάο. Σε περίπτωση που γίνει κατάχρηση του ανθρακικού καλίου, το βούτυρο κακάο ενδέχεται να σαπωνοποιηθεί, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, προσδίδοντας έτσι δυσάρεστη σαπωνώδη γεύση στο προϊόν. Προς αποφυγήν του αποτελέσματος αυτού γίνεται να ενσωματωθεί μικρή ποσότητα οξικού ή τρυγικού οξέος μετά την αλκαλοποίηση με σκοπό τη μείωση του pH. Σε μερικές περιπτώσεις πραγματοποιείται ελαφρά αλκαλοποίηση κάποιων ποικιλιών κόκκων κακάο με υψηλή οξύτητα με σκοπό την εξουδετέρωση της οξύτητας αυτής, κάτι που έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνει σημαντικά την ποιότητα της σοκολάτας (Gutiérrez, 2017).

5. Άλλα συστατικά της σοκολάτας

5.1 Γλυκαντικές ουσίες

5.1.1 Ζάχαρη και υποκατάστατα ζάχαρης

Κατά παράδοση, το τελικό προϊόν σοκολάτας περιέχει στη σύσταση του περίπου 50% σάκχαρα κατά κύριο λόγο με τη μορφή σακχαρόζης, αν και λόγω των προστιθέμενων γαλακτοκομικών προϊόντων ανιχνεύεται και μικρή περιεκτικότητα λακτόζης. Η ζάχαρη παίζει σημαντικό ρόλο στη γεύση της σοκολάτας και διακύμανση της περιεκτικότητάς της κατά 1-2% επηρεάζει σημαντικά τη γλυκύτητα του τελικού προϊόντος, ενώ η παρουσία της έχει σημαντική επίδραση σε τεχνικές επεξεργασίας, όπως η παρασκευή καραμελωμένης σοκολάτας γάλακτος (Liang & Hartel, 2004). Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί σκευάσματα που περιέχουν φρουκτόζη ή υποκατάστατα ζάχαρης, όπως σορβιτόλη και άλλα με σκοπό την κατανάλωση των προϊόντων από διαβητικούς. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό το γεγονός ότι η ζάχαρη αποτελεί σημαντικό παράγοντα των ρεολογικών ιδιοτήτων του τελικού προϊόντος παρέχοντας χαρακτηριστικό όγκο οπότε, η αντικατάσταση της από γλυκαντικές ουσίες επηρεάζει τις ρεολογικές ιδιότητες της σοκολάτας. Επίσης, στην γεύση και το άρωμα του τελικού προϊόντος συμβάλλει η προσθήκη φυσικής ή τεχνητής βανίλιας.

Οι τεχνητές γλυκαντικές ουσίες έχοντας μεγάλη γλυκύτητα και καθαρτική δράση μπορούν να προστεθούν στο μίγμα της σοκολάτας σε μικρές ποσότητες και να ενσωματωθούν στη σύσταση, με αποτέλεσμα όμως τη μείωση του τελικού όγκου της. Ένας τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού είναι η ενσωμάτωση ποσότητας γάλακτος που έχει υποστεί ξήρανση με ψεκασμό με αποτέλεσμα την έκθεση του λίπους στην επιφάνεια, τη βελτίωση των ρεολογικών ιδιοτήτων και την αύξηση του όγκου. Εφαρμόζεται επίσης σε αρκετές περιπτώσεις η προσθήκη πολυδεξτρόζης με αποτέλεσμα τη ενίσχυση τόσο του γλυκαντικού αποτελέσματος όσο και των ιδιοτήτων ροής του τελικού προϊόντος.

Τα κρυσταλλικά σάκχαρα διαθέτουν υψηλή καθαρότητα, τις περισσότερες φορές πάνω από 99,9% και σε ελάχιστες περιπτώσεις κάτω από 99,7% ενώ διατίθενται σάκχαρα που κατηγοριοποιούνται αναλόγως με το μέγεθος των κόκκων. Για την παρασκευή σοκολάτας προτιμάται κυρίως από τους κατασκευαστές η ζάχαρη με μεσαίο μέγεθος κόκκων, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις ζητείται συγκεκριμένο φάσμα μεγέθους κόκκων διότι

αυτό μπορεί να παίξει καθοριστικό ρόλο στην ποιότητα της σοκολάτας. Τα σάκχαρα ανεξαρτήτως μεγέθους των κόκκων παρουσιάζουν κρυσταλλική δομή και είναι διπλοθλαστικά. Παρόλα αυτά η κατάσταση τους εκτός από κρυσταλλική μπορεί επίσης να είναι υαλώδης (μη κρυσταλλική). Η άμορφη αυτή δομή είναι σε θέση να επηρεάσει σε υγρή κατάσταση σημαντικά τη γεύση και τα ρεολογικά χαρακτηριστικά αφού έχει μεγάλη απορροφητικότητα υγρασίας και είναι εύκολο να διεισδύσουν αρώματα που θα προσδώσουν διαφορετικό τελικό άρωμα από το επιθυμητό. Επίσης είναι πιθανή η προσρόφηση μεταλλικών νοτών αν πραγματοποιηθεί ανάδευση με χρήση μεταλλικού οργάνου. Στην περίπτωση που το σάκχαρο αλέθεται σε άμορφη κατάσταση, σε συνδυασμό με κακάο, πτητικά αρώματα του κακάο απορροφώνται στην επιφάνεια του, δίνοντας έτσι εντονότερη γεύση σοκολάτας. Λόγω του ότι περίπου το ήμισυ της μάζας της σοκολάτας είναι σακχαρόζη είναι σημαντικό να διατηρείται σε περιβάλλον άνευ υγρασίας καθώς οποιαδήποτε απορρόφηση νερού θα έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σβώλων μεταξύ των κόκκων της σακχαρόζης οι οποίοι θα έχουν αρνητική επίδραση στην τελική ποιότητα της σοκολάτας (Gutiérrez, 2017).

5.1.2 Λακτόζη

Αποτελεί δισακχαρίτη, όπως ακριβώς και η σακχαρόζη, και αποτελείται από τους μονοσακχαρίτες γλυκόζη και γαλακτόζη. Η λακτόζη του γάλακτος μπορεί να παραχθεί αποκλειστικά από το μαστικό αδένιο θηλυκού θηλαστικού έπειτα από τον τοκετό. Σε μερικές περιπτώσεις η κρυσταλλική λακτόζη προστίθεται ως υποκατάστατο της σακχαρόζης αφού είναι λιγότερο γλυκιά και με αυτόν τον τρόπο μειώνεται η συνολική γλυκύτητα της σοκολάτας. Η κρυσταλλική λακτόζη υπάρχει σε δύο διαφορετικούς τύπους τη β- και την α-λακτόζη. Κανένας από τους δύο τύπους δεν είναι υδροσκοπικός, παρόλα αυτά ο τύπος β έχει μεγαλύτερη γλυκύτητα και μεγαλύτερη διαλυτότητα από τον α. Ωστόσο η άμορφη λακτόζη είναι ιδιαίτερως υδροσκοπική.

Στην περίπτωση της σοκολάτας η σκόνη γάλακτος που προστίθεται περιέχει την άμορφη μορφή της λακτόζης, καθώς αν υπήρχε σε διαφορετική περίπτωση υαλώδης λακτόζη αυτή θα εγκλώβιζε μέρος του λίπους του γάλακτος μη αφήνοντάς το να συντελέσει στις ρεολογικές ιδιότητες της σοκολάτας. Αν πραγματοποιηθεί αντικατάσταση της σακχαρόζης από λακτόζη στη σύσταση της σοκολάτας τότε θα επηρεαστεί αντίστοιχα η γλυκύτητα και η πικράδα, ενώ μπορούν επίσης να παρατηρηθούν μεταβολές στη σκληρότητα,

το σημείο τήξης, την κοκκομετρία και τις εντάσεις του γάλακτος στο προϊόν (Guinard & Mazzucchelli, 1999). Επίσης η λακτόζη αν εκτεθεί σε υψηλές θερμοκρασίες είναι πιθανό να συμμετάσχει σε αντιδράσεις Maillard.

5.1.3 Γλυκόζη και φρουκτόζη

Η γλυκόζη και η φρουκτόζη δεν συνιστώνται για την παρασκευή σοκολάτας επειδή είναι εξαιρετικά υγροσκοπικές. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται για την παρασκευή σοκολάτας για διαβητικούς, αλλά απαιτούν ειδικές συνθήκες επεξεργασίας, ειδικά επίπεδα θερμοκρασίας και υγρασίας.

5.1.4 Αλκοολοσάκχαρα (Πολυόλες)

Η σακχαρόζη στη σοκολάτα μπορεί να αντικατασταθεί με πολυόλη για την παραγωγή προϊόντων χαμηλής περιεκτικότητας σε θερμίδες ή χωρίς ζάχαρη. Η γλυκύτητα των διαθέσιμων πολυολών ποικίλλει πολύ. Επιπλέον, από πλευράς θερμιδικής πρόσληψης, συνήθως η σακχαρόζη δίνει 4,0 kcal/g (17 kJ/g), ενώ οι πολυόλες 2,4 kcal/g (10kJ/g). Παραδείγματα κοινώς χρησιμοποιούμενων πολυολών είναι η ισομάλη, η σορβιτόλη, η ταγκατόζη, η μαννιτόλη και η ξυλιτόλη (Gutiérrez, 2017).

Ισομάλη (E 953): είναι παράγωγο της σακχαρόζης με γλυκύτητα 55% της σακχαρόζης. Αποτελεί μία μη υγροσκοπική ουσία αν και σε περίπτωση περιβάλλοντος υψηλής υγρασίας δημιουργεί συσσωματώματα. Η προσθήκη της σε σοκολάτες γάλακτος αντί της σακχαρόζης έδωσε προϊόν με αυξημένη περιεκτικότητα υγρασίας, ενώ σοκολάτες με χρήση 100% ισομάλης έδωσαν παρόμοιες τιμές φωτεινότητας με αυτές της σακχαρόζης με τη μικρή διαφορά ότι εμφανίστηκαν πιο σκούρες σε χρωματισμό. Τα πιο επιτυχημένα αποτελέσματα με μεγαλύτερη αποδοχή προέκυψαν με χρήση ισομάλης σε ποσοστό 12,93%, αν και γενικά οι σοκολάτες που περιείχαν σακχαρόζη στη σύσταση τους είχαν σημαντικά μεγαλύτερη αποδοχή από το καταναλωτικό κοινό.

Σορβιτόλη (E 420): αποτελεί παράγωγο της γλυκόζης και είναι το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο γλυκαντικό γλυκόζης με γλυκύτητα 60% της σακχαρόζης. Αν και η χρήση της στη βιομηχανία παραγωγής σοκολάτας είναι ιδιαίτερα περιορισμένη συγκριτικά με άλλες πολυόλες, χρησιμοποιείται παρόλα αυτά για την παραγωγή σκληρής καραμέλας χωρίς ζάχαρη, τσίχλες, ζελέ και ροφήματα κακάο.

Ταγκατόζη (E 963): είναι στερεοϊσομερές της D-φρουκτόζης και ισομερές της D-γαλακτόζης που απαντάται στο φυτό *Sterculia setigera* με γλυκύτητα 92% της σακχαρόζης. Όπως και πολλές άλλες πολυόλες, διαθέτει ευεργετικές ιδιότητες για την οδοντική υγιεινή και χαμηλή θερμιδική αξία 2,4 kcal/g. Αποτελεί τόσο γλυκαντικό όσο και διογκωτικό παράγοντα με μεγάλη πιθανότητα να αντικαταστήσει την σακχαρόζη κατά την παραγωγή σοκολάτας μειωμένων ή μηδενικών θερμίδων. Η D-ταγκατόζη δεν είναι καθόλου υγροσκοπική ουσία και λόγω αυτής της ιδιότητας σε σοκολάτες με αυξημένη συγκέντρωση ταγκατόζης παρατηρήθηκε χαμηλότερο περιεχόμενο υγρασίας και χαμηλότερο ιξώδες. Συγκεκριμένα σε μαύρες σοκολάτες με χρήση 100% D-ταγκατόζης παρατηρήθηκε χαμηλότερο ποσοστό υγρασίας και ιξώδες, συγκριτικά με μαύρες σοκολάτες που παρασκευάστηκαν με 100% σακχαρόζη. Με χρήση 5% ταγκατόζης, ελήφθησαν σοκολάτες γάλακτος με πιο επιθυμητά χαρακτηριστικά, ενώ με χρήση 2,5% D-ταγκατόζης επιτεύχθηκε παρόμοια αίσθηση τήξης στο στόμα με αυτή των συμβατικών σοκολάτων.

Μαννιτόλη (E421): αποτελεί μία μονοσακχαριδική αλκοόλη που περιέχεται στο μάννα, στον αποξηραμένο χυμό του άνθους ή τέφρα του μάννα. Παράγεται βιομηχανικώς σε πολύ μεγάλη κλίμακα μέσω καταλυτικής διεργασίας υδρογόνωσης με βάση καθαρό ιμβερτοποιημένο σάκχαρο. Αυτή η διεργασία δίνει τελικά ένα μείγμα σορβιτόλης και μαννιτόλης, στο οποίο η μαννιτόλη διαχωρίζεται μέσω μίας διεργασίας πολλαπλών σταδίων. Συνδυαστικά με τη σορβιτόλη χρησιμοποιήθηκε για παραγωγή σοκολάτας “χωρίς προσθήκη ζάχαρης”, αλλά λόγω της υψηλής καθαρκτικής της δράσης δεν γίνεται η ποσότητα της να υπερβαίνει τα 10g που αποτελεί την ασφαλή ημερήσια πρόσληψη για ενήλικες.

Ξυλιτόλη (E967): όπως και η μαννιτόλη είναι μία μονοσακχαριδική αλκοόλη με τη διαφορά ότι έχει πέντε άτομα άνθρακα σε αντίθεση με τη μαννιτόλη που έχει έξι. Είναι ένα φυσικό γλυκαντικό το οποίο αποτελεί εγγενές μέρος του ανθρώπινου μεταβολισμού αφού κάθε άνθρωπος διαθέτει την ικανότητα να παράγει 5-15 g ξυλιτόλης ημερησίως ως μέρος του φυσιολογικού μεταβολισμού των υδατανθράκων, ενώ είναι επίσης δυνατή η παραγωγή της με ενζυματική μετατροπή της γλυκόζης. Αποτελεί μια μη υγροσκοπική, χαμηλής θερμιδικής αξίας ουσία (153,1 J/g) που κατά την τήξη στο στόμα δίνει ένα αξιοσημείωτο ψυκτικό αποτέλεσμα και έχει τη μεγαλύτερη γλυκαντική ισχύ συγκριτικά με τις άλλες αλκοόλες ζάχαρης και παρόμοια με αυτή τη σακχαρόζης. Αξίζει να αναφερθεί ότι η παραγωγή

σοκολάτας με ξυλιτόλη είναι δυνατή χωρίς την επίδραση ειδικής επεξεργασίας όμως προκύπτει προϊόν με ιδιαίτερο ψυκτικό αποτέλεσμα κατά την τήξη στο στόμα όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, κάτι που δεν μπορεί να αντιμετωπιστεί με πρόσθετη επεξεργασία (Selvasekaran & Chidambaram, 2021).

5.1.5 Μη θρεπτικές γλυκαντικές ουσίες

Τα μη θρεπτικά γλυκαντικά περιλαμβάνουν ασπαρτάμη, στέβια, σακχαρίνη, νεοτάμη και ακεσουλφάμη-Κ.

Ασπαρτάμη (E951): είναι ένα τεχνητό γλυκαντικό με 200 φορές μεγαλύτερη ισχύ γλυκύτητας συγκριτικά με τη σακχαρόζη. Δεν γίνεται απευθείας αντιληπτή η ύπαρξη της αλλά έχει παρατεταμένη και καθαρή γλυκύτητα με μερική ή καθόλου επίγευση. Δεν είναι ιδιαίτερα σταθερή ένωση ειδικά σε συνθήκες χαμηλού pH και υψηλής θερμοκρασίας. Συνδυάζεται πολύ καλά με τη σακχαρίνη και την ακεσουλφάμη Κ, ενώ η κατάλληλη ημερήσια πρόσληψη είναι 50 mg/kg σωματικού βάρους. Σοκολάτες παρασκευασμένες με ασπαρτάμη αντί για σακχαρόζη, παρουσίασαν πτητική οξύτητα κατά 26-51% υψηλότερη, όμως πρέπει να πραγματοποιηθούν περαιτέρω μελέτες καθώς δεν είναι απολύτως γνωστή η επίδραση της ασπαρτάμης στα ρεολογικά και οργανοληπτικά χαρακτηριστικά των διαφόρων ειδών σοκολάτας.

Στέβια (E960): είναι φυσικό γλυκαντικό το οποίο προέρχεται από φυτικά εκχυλίσματα της *Stevia rebaudiana* με κύριες δραστικές ουσίες τους γλυκοζίτες της στεβιόλης, ειδικά η στεβιοσίδη και η ρεμπαουδιοσίδη. Η ισχύς γλυκύτητας της είναι 200-400 φορές μεγαλύτερη από αυτή της σακχαρόζης με αποδεκτή ημερήσια πρόσληψη 4 mg/kg σωματικού βάρους. Παρόλα αυτά η γλυκιά γεύση της στέβια υπερκαλύπτεται από την ανεπιθύμητη πικρή και δυσάρεστη επίγευση που αφήνει. Ακόμη και με βελτιστοποίηση της σύνθεσης της στέβια προέκυψαν σοκολάτες με ελαφρά στυπτικότητα και πικρή γεύση. Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε φάνηκε ότι η μερική προσθήκη σακχαρόζης κατάφερε να καλύψει την πικρή επίγευση της στέβια και να αυξήσει το ενδιαφέρον του καταναλωτικού κοινού προς τις σοκολάτες χαμηλής θερμιδικής αξίας. Σοκολάτες με 100% στέβια ως γλυκαντικό παρατηρήθηκε ότι έχουν υψηλότερο σημείο τήξης συγκριτικά με τις συμβατικές, βελτιωμένη στα-

θερότητα σε διακυμάνσεις τις θερμοκρασίας κατά την περίοδο αποθήκευσης του προϊόντος η οποία απέτρεψε την τήξη των σοκολατών και το σχηματισμό λιπαρών κηλίδων στην επιφάνεια λευκών σοκολατών.

Σακχαρίνη (E 954): είναι τεχνητή γλυκαντική ουσία με 200-700 φορές μεγαλύτερη ισχύ γλυκύτητας από τη σακχαρόζη. Παρόλα αυτά, παρομοίως, με τη στέβια παρουσιάζει δυσάρεστη γεύση με μεταλλική και πικρή επίγευση. Έχει ιδιαιτέρως μεγάλες δυνατότητες στη βιομηχανική παραγωγή σοκολάτας επιθυμητής ποιότητας, τόσο με μειωμένη ζάχαρη όσο και χωρίς ζάχαρη, όμως έχει ακόμα περιορισμένη εφαρμογή στις βιομηχανίες καθώς δεν έχει βρεθεί τρόπος να καλυφθεί η δυσάρεστη επίγευση, χωρίς την προσθήκη σακχαρόζης.

Νεοτάμη (E 961): αποτελεί ένα τεχνητό γλυκαντικό με μηδενική θερμιδική αξία και ισχύ γλυκύτητας 7.000-13.000 φορές μεγαλύτερη από άλλες τεχνητές γλυκαντικές ουσίες, πολυόλες και σακχαρόζη, ενώ η μέγιστη αποδεκτή ημερήσια κατανάλωση είναι 18 mg/kg σωματικού βάρους. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί προς αντικατάσταση της σακχαρόζης σε μεγάλο πλήθος προϊόντων ζαχαροπλαστικής και ειδικά σε σοκολάτες. Λόγω της υψηλής της γλυκαντικής ισχύος, μια μικρή συγκέντρωση νεοτάμης είναι επαρκής ώστε να προκύψει ικανοποιητική γλυκύτητα. Είναι αργώς αισθητηριακά αντιληπτή αλλά προσδίδει παρατεταμένη γλυκύτητα με χαμηλή ή καθόλου επίγευση. Δεν έχει υψηλή σταθερότητα, ειδικά σε συνθήκες χαμηλού pH και υψηλής θερμοκρασίας, και είναι από τις πιο κατάλληλες γλυκαντικές ουσίες για ανάμειξη με άλλες όπως σακχαρίνη και ακεσουλφάμη-K.

Ακεσουλφάμη-K (E 950): είναι ένα χημικά παραγόμενο γλυκαντικό, το οποίο είναι 200 φορές πιο γλυκό από τη σακχαρόζη. Η αποδεκτή ημερήσια πρόσληψη ακεσουλφάμης K είναι 15 mg/kg σωματικού βάρους/ημέρα. Γίνεται ευκόλως αντιληπτή η παρουσία της χωρίς σημαντικά παρατεταμένη γλυκύτητα και πικρή επίγευση. Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης ακεσουλφάμης K στη σοκολάτα είναι η σταθερότητά της σε υψηλότερες θερμοκρασίες, γεγονός που συμβάλλει σημαντικά σε διαδικασίες κονσερβοποίησης, όπως και η εύκολη συνέργεια της με άλλα ισχυρά γλυκαντικά, όπως ασπαρτάμη και σουκραλόζη. Όμως, οι ρεολογικές ιδιότητες, η ποιότητα και οι αισθητηριακές ιδιότητες της σοκολάτας που περιέχει ακεσουλφάμη-K δεν έχουν μελετηθεί πλήρως (Selvasekaran & Chidambaram, 2021).

5.2 Γάλα και άλλα γαλακτοκομικά

Η σοκολάτα με τη μεγαλύτερη κατανάλωση στον κόσμο είναι η σοκολάτα γάλακτος. Η σοκολάτα γάλακτος είναι γενικά πιο μαλακή από τη μαύρη σοκολάτα, έχει πιο απαλή αίσθηση στο στόμα και πιο κρεμώδη γεύση. Το γάλα χρησιμοποιείται σε αφυδατωμένη μορφή. Η σκόνη γάλακτος αντιπροσωπεύει το 13,5% της μάζας της σοκολάτας γάλακτος. Το μεγαλύτερο, σε ποσότητα συστατικό είναι η λακτόζη, περίπου 5%, ακολουθούμενη από ελαφρώς χαμηλότερη περιεκτικότητα σε λιπαρά γάλακτος, περίπου 3,5% πρωτεΐνη και περίπου 0,7% μέταλλα, ιδιαίτερα ασβέστιο, που θεωρείται καλό για την υγεία.

5.2.1 Λίπος γάλακτος

Μετά τη λακτόζη, το λίπος γάλακτος είναι το δεύτερο πιο άφθονο στοιχείο στη σκόνη γάλακτος. Είναι πολύ σημαντικό γιατί δίνει στη σοκολάτα γάλακτος μοναδική γεύση και υφή. Επιπλέον, το λίπος του γάλακτος μπορεί να εμποδίσει την ανάπτυξη του βουτύρου κακάο, δηλαδή μπορεί να αποτρέψει τον σχηματισμό μεγάλων κρυστάλλων λίπους που μεταναστεύουν και εναποτίθενται στην επιφάνεια της σοκολάτας, δίνοντάς της μια υπόλευκη εμφάνιση και αμμώδη υφή. Στη σοκολάτα το βούτυρο κακάο αποτελεί το πιο ακριβό συστατικό και έτσι, η προσθήκη λίπους γάλακτος μειώνει το κόστος παραγωγής της. Ωστόσο, όταν το λίπος του γάλακτος αναμιγνύεται με το βούτυρο κακάο, το ευτηκτικό σημείο θα μειωθεί, καθιστώντας τη σοκολάτα πιο μαλακή. Έτσι αν αυξηθεί η περιεκτικότητα του λίπους γάλακτος στη σοκολάτα, θα λιώνει σε θερμοκρασία δωματίου αφού απαιτείται συγκεκριμένη ποσότητα για να ληφθούν τα επιθυμητά οργανοληπτικά χαρακτηριστικά. Το λίπος του γάλακτος αποτελείται κατά 98% από τριγλυκερίδια, που αποτελούνται από 3 λιπαρά οξέα και 1 μόριο γλυκερόλης. Το υπόλοιπο 2% αποτελείται από φωσφογλυκερίδια (κυρίως λεκιθίνη) και διακυλογλυκερίδια (2 λιπαρά οξέα συν γλυκερόλη) και στερόλες.

Ωστόσο, το λίπος του γάλακτος υδρολύεται εύκολα από τις λιπάσες, γεγονός το οποίο μειώνει τη διάρκεια ζωής του. Οι λιπάσες καταλύουν την απομάκρυνση των λιπαρών οξέων από τα τριγλυκερίδια και τα ελεύθερα λιπαρά οξέα μικρής αλυσίδας προκαλούν τάγγισμα του γάλακτος. Αντίθετα, τα οξέα που σχηματίζονται από την υδρόλυση του βουτύρου κακάο είναι συνήθως άγευστα, επομένως η ποιότητα της σοκολάτας εξακολου-

θεί να είναι αποδεκτή. Τα λιπαρά οξέα αρχικά οξειδώνονται για να σχηματίσουν υπεροξειδία (-O-O-), τα οποία από μόνα τους είναι άγευστα. Ωστόσο, αυτά μπορούν να αποικοδομηθούν για να παράγουν ανεπιθύμητες γεύσεις. Ένας τρόπος ανίχνευσης του πρώτου σταδίου υποβάθμισης είναι η μέτρηση της ποσότητας του παρόντος υπεροξειδίου. Επομένως, το λίπος του γάλακτος που πρέπει να αποθηκευτεί για οποιοδήποτε χρονικό διάστημα πρέπει να βρίσκεται σε αναερόβιες συνθήκες. Μια μέθοδος είναι να αποθηκευτεί η σοκολάτα σε ένα δοχείο με άζωτο ή να τοποθετηθεί σε συνθήκες κατάψυξης.

5.2.2 Πρωτεΐνες γάλακτος

Η πρωτεΐνη που περιέχεται στη σοκολάτα γάλακτος μπορεί όχι μόνο να προσφέρει θρεπτικά συστατικά, αλλά και να προσθέσει γεύση, υφή και ρευστότητα στη σοκολάτα. Η χαμηλή περιεκτικότητα σε πρωτεΐνη θα κάνει το προϊόν πιο κοκκώδες, ενώ εάν εκτεθεί σε υψηλές θερμοκρασίες, θα λάβει χώρα η αντίδραση Maillard, με αποτέλεσμα τη μαγειρεμένη γεύση στη σοκολάτα. Τόσο η καζεΐνη όσο και η πρωτεΐνη ορού γάλακτος βρίσκονται στο γάλα. Η καζεΐνη σχηματίζει διεπιφάνεια μεταξύ των στερεών συστατικών και των λιπαρών συστατικών της σοκολάτας, ενεργώντας έτσι ως γαλακτωματοποιητής. Η καζεΐνη έχει επίσης ιδιότητες δέσμησης νερού που διευκολύνουν τη ροή της σοκολάτας. Η ίδια η καζεΐνη δεν έχει πολύ καλή γεύση, επομένως μπορεί να είναι ανεπιθύμητη σε ορισμένα προϊόντα ζαχαροπλαστικής. Ωστόσο, μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της γεύσης της σοκολάτας.

5.2.3 Σκόνες γάλακτος

Το πιο κοινό γάλα σε σκόνη που χρησιμοποιείται για την παρασκευή σοκολάτας παρασκευάζεται από αποβουτυρωμένο γάλα. Το αποβουτυρωμένο γάλα σε σκόνη συνήθως αναμιγνύεται με σκόνη κακάο στη διαδικασία παρασκευής σοκολάτας, έτσι ώστε το μείγμα που προκύπτει να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή σοκολάτας με την ίδια αναλογία συστατικών γάλακτος. Ωστόσο, η γεύση, η υφή και τα χαρακτηριστικά ροής μπορούν να αλλάξουν ανάλογα με τη συνολική περιεκτικότητα σε λιπαρά της σκόνης γάλακτος που χρησιμοποιείται. Αν και είναι αποβουτυρωμένο, το γάλα που χρησιμοποιείται για την παρασκευή της σοκολάτας περιέχει πάντα τουλάχιστον 1% περιεκτικότητα σε λιπαρά. Όλο το λίπος στο αποβουτυρωμένο γάλα μπορεί να αντιδράσει ελεύθερα με το βούτυρο κακάο ή τα σωματίδια βουτύρου κακάο.

Όσον αφορά τα σωματίδια σε σκόνη γάλακτος που παράγονται με ξήρανση με ψεκασμό, τα σωματίδια είναι σφαιρικά και το λίπος βρίσκεται εντός τους. Ωστόσο, κατά τη διαδικασία ξήρανσης με κυλίνδρους, το μεγαλύτερο μέρος του λίπους παραμένει στην επιφάνεια των σωματιδίων, γεγονός που προκαλεί αλλαγή του ιξώδους. Αυτό σημαίνει ότι οι σκόνες γάλακτος που προκύπτουν μέσω κυλίνδρου προσφέρουν πιο λεία υφή σοκολάτας και σοκολάτα που θα λιώνει πιο εύκολα. Το γάλα μπορεί επίσης να υποβληθεί σε θερμική επεξεργασία πριν από τον ψεκασμό για να αποκτήσει πιο μαγειρεμένη γεύση. Μερικές φορές χρησιμοποιείται σκόνη γάλακτος με υψηλή περιεκτικότητα σε λιπαρά, έτσι ώστε ο σοκολατοποιός να μην χρειάζεται να προσθέσει αυτό το συστατικό στη διαδικασία παραγωγής (Gutiérrez, 2017).

5.2.4 Σκόνη ορού γάλακτος και λακτόζης

Ο ορός γάλακτος αποκτά όλο και μεγαλύτερη χρήση καθώς συμβάλλει στην βελτίωση της υγείας και διαθέτει στη σύστασή του πολυάριθμα θρεπτικά συστατικά, όπως πολλά βασικά αμινοξέα που συμβάλλουν στη σύνθεση των μυών. Επιτρέπει επίσης τη δημιουργία μιας γεύσης καραμέλας, αυξάνοντας το ρυθμό της αντίδρασης Maillard, κατά τη διαδικασία του κονσαρίσματος σοκολάτας στην οποία έχει προστεθεί σκόνη γάλακτος. Στην περίπτωση σκόνης ορού γάλακτος χαμηλής περιεκτικότητας σε ανόργανα άλατα παρατηρείται η ιδιότητά του να περιορίζει την αλμυρότητα που τυχαίνει μερικές φορές να ανιχνεύεται σε περίσσεια στη σοκολάτα. Γενικά, αντικαθιστώντας τις στερεές γαλακτοκομικές ουσίες με τη σκόνη ορού γάλακτος επιτυγχάνεται βελτιστοποίηση του κόστους της τάξης του 8-14%, ενώ με βάση τα πρότυπα που έχει θέσει η Ε.Ε. η χρήση των γαλακτοκομικών αυτών ουσιών, εκτός του γάλακτος, δεν μπορούν να υπερβαίνουν το 5 %w/w της συνολικής μάζας του τελικού προϊόντος σε σοκολάτα γάλακτος. Στις Η.Π.Α. από την άλλη ο FDA έχει ορίσει χρήση μέχρι 5 %w/w συστατικών με βάση τον ορό γάλακτος για τη λευκή σοκολάτα (Larčičková, και συν., 2022). Η καζεΐνη λαμβάνεται με την οξίνιση του γάλακτος, συνήθως αποβουτυρωμένου γάλακτος. Η καζεΐνη μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί για ζάχαρη για τη μείωση της γλυκύτητας. Η χρήση της πραγματοποιείται σε περίπτωση που είναι επιθυμητό ένα προϊόν μικρότερης γλυκύτητας τόσο στη σοκολάτα όσο και σε κάποιες επικαλύψεις (Gutiérrez, 2017).

5.3 Γαλακτωματοποιητές

Η σοκολάτα έχει μια συνεχή λιπαρή φάση, στην οποία τα υδρόφιλα και λιπόφοβα σάκχαρα είναι αδιάλυτα, επομένως η επιφάνεια πρέπει να επικαλύπτεται με λίπος. Αυτό δεν είναι εύκολο να συμβεί. Οι γαλακτωματοποιητές είναι ωφέλιμοι για τη μείωση της περιεκτικότητας σε λιπαρά της σοκολάτας διατηρώντας τα επιθυμητά ρεολογικά χαρακτηριστικά. Η επιλογή φυσικού γαλακτωματοποιητή, κόμμεος, λεκιθίνης, διαλυτού πολυσακχαρίτη ή συνθετικού (καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη) εξαρτάται από την επίδραση στο τελικό προϊόν.

Η λεκιθίνη είναι ένα υποπροϊόν της παραγωγής σογιέλαιου και είναι ένα μείγμα φυσικών φωσφορικών γλυκεριδίων. Στη σοκολάτα, η πιο γαλακτωματοποιητική ουσία στην ακατέργαστη λεκιθίνη, θεωρείται η φωσφατιδυλοχολίνη. Η προσθήκη λεκιθίνης μπορεί να αλλάξει σημαντικά το πλαστικό ιξώδες. Όταν η ποσότητα προσθήκης είναι μεταξύ 0,1% και 0,3%, μπορεί να μειώσει το ιξώδες της σοκολάτας και να ενισχύσει την ανοχή του τελικού προϊόντος σε υψηλότερες συνθήκες υγρασίας, ενώ όταν φτάνει άνω του 0,5% το πλαστικό ιξώδες συνεχίζει να μειώνεται.

Η πολυγλυκερόλη πολυρικινελαϊκού (PGPR), λαμβάνεται μέσω πολυσυμπύκνωσης καστορελαίου και γλυκερόλης. Είναι ένα σύνθετο μίγμα με το συστατικό της πολυγλυκερόλης να αποτελείται από δι-, τρι- και τετραγλυκερόλες. Το PGPR είναι νόμιμα εγκεκριμένο εντός της ΕΕ και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε γλυκά με βάση το κακάο με περιεκτικότητα έως και 0,5%. Παρόλα αυτά, δεν έχει μεγάλη επίδραση στο πλαστικό ιξώδες του κακάο. Πολλοί σοκολατοποιοί χρησιμοποιούν έναν συνδυασμό PGPR και λεκιθίνης για να επιτύχουν το απαιτούμενο πλαστικό ιξώδες και για να εξισορροπήσουν το αποτέλεσμα μείωσης του πλαστικού ιξώδους. Η προσθήκη PGPR σε σοκολάτα που περιέχει 0,5% λεκιθίνη θα έχει ως αποτέλεσμα την ελαφρά αύξηση του πλαστικού ιξώδους. Όταν η συγκέντρωση λεκιθίνης είναι υψηλότερη από 0,5%, η αύξηση του πλαστικού ιξώδους είναι ανεξέλεγκτη. Η PGPR έχει μικρή αποτελεσματικότητα στην αποτροπή της “άνθισης” του λίπους.

Η μονοστεατική γλυκερόλη (GMS) χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία ζαχαροπλαστικής και σχηματίζεται από την ατελή εστεροποίηση των υδροξυλομάδων γλυκερόλης χρησιμοποιώντας ένα μόνο λιπαρό οξύ. Το 1998 διαπιστώθηκε ότι οι εστέρες λιπαρών οξέων της γλυκερίνης δεν μπορούν να αυξήσουν το πλαστικό ιξώδες μειώνοντας την

αποτελεσματική κάλυψη των σωματιδίων ζάχαρης, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη τριβή. Το μείγμα σορβιτάνης και γλυκερόλης λιπαρών οξέων αποφέρει υψηλότερο πλαστικό ιξώδες (Afoakwa, 2016).

6. Παραγωγή σοκολάτας

Με βάση τη νομοθεσία της Βενεζουέλας (COVENIN 52: 1999), ως σοκολάτα νοείται η πάστα που λαμβάνεται από κακαοπολτό (cocoa liquor ή cocoa mass) (μάζα κακάο) (βλ. Εικόνες 41 και 42) και βούτυρο κακάο (cocoa butter), με ή χωρίς την προσθήκη ζάχαρης ή/και διαφόρων πρόσθετων τροφίμων. Παραπάνω κατηγοριοποίηση της σοκολάτας μπορεί να γίνει σύμφωνα με τον τρόπο κατανάλωσης για τον οποίο προορίζεται, όπως: πόσιμη σοκολάτα, βρώσιμη σοκολάτα και σοκολάτα για επικάλυψη. Η πόσιμη σοκολάτα είναι αποτέλεσμα της ανάμειξης κακαοπολτού με βούτυρο κακάο, ζάχαρη, γαλακτωματοποιητές και αρωματικές ύλες. Η βρώσιμη σοκολάτα (γάλακτος, μαύρη, λευκή) προκύπτει από κακαοπολτό, βούτυρο κακάο, ζάχαρη, γαλακτωματοποιητές αλλά και κάποιες προαιρετικές προσθήκες όπως πλήρες ή άπαχο γάλα, στερεά γάλακτος, ξηροί καρποί, δημητριακά, κρέμες, φρούτα, σιρόπια και λικέρ. Η βρώσιμη σοκολάτα βρίσκεται σε μορφή μπάρας, σοκολατένιων κουφέτων ή άλλου είδους γλυκίσματα.



Εικόνα 41 (αριστερά): Στερεοποιημένος κακαοπολτός (cocoa mass) (Πηγή: <https://www.indiamart.com/proddetail/cocoa-mass-19184037655.html>)

Εικόνα 42 (δεξιά): Ρευστός κακαοπολτός (cocoa liquor) (Πηγή: <https://goafricatradng.com/shop/cocoa-products/cocoa-mass/natural-cocoa-mass-mt/>)

Η μαύρη σοκολάτα υψηλής ποιότητας προβλέπεται πως πρέπει να έχει τουλάχιστον 50% κακάο. Παρόλα αυτά, σοκολάτα με περιεκτικότητα κακάο μεγαλύτερη από 75% θα έχει υπερβολικά έντονη γεύση ή/και πολύ μαλακή υφή. Για την παρασκευή μιας ποιοτικά καλής μαύρης σοκολάτας είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν διάφορες ποικιλίες κακάο, ωστόσο οι πιο έμπειροι σοκολατοποιοί χρησιμοποιούν κακάο Criollo (εκλεκτό ή αρωματικό) ώστε να εξασφαλίσουν την ισορροπία, την κατάλληλη οξύτητα και τα σύνθετα αρώματα που διακρίνουν τις πιο καλές σοκολάτες. Τέλος, μπορεί να γίνει χρήση το κακάο

Criollo σε συνδυασμό με άλλες ποικιλίες προκειμένου να δημιουργηθούν μίγματα σοκολάτας με πιο έντονο σώμα και υφή.

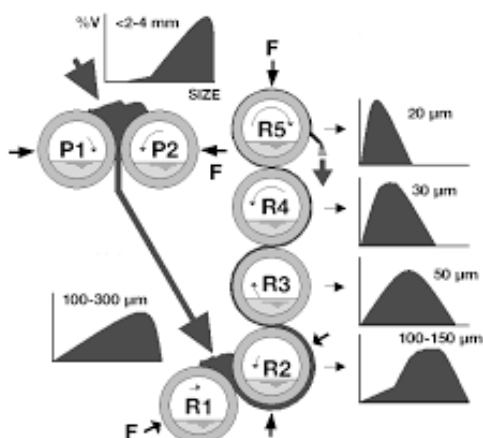
Η παρασκευή της σοκολάτας και των προϊόντων που παράγονται από αυτή, τόσο σε επίπεδο βιομηχανίας όσο και σε μικρότερη κλίμακα, περιλαμβάνει τα εξής στάδια: 1) την ανάμειξη των συστατικών της σοκολάτας που πρόκειται να παραχθεί μέχρι να ληφθεί μια μάζα που εμφανίζει ομοιογένεια, 2) την ομαλοποίηση της πάστας και την εξάλειψη των σβόλων (refining), 3) το κονσάρισμα (conching) που στοχεύει στην εκμηδένιση της πικράδας, της οξύτητας και την απομάκρυνση της ποσότητας υγρασίας που έχει παραμείνει, 4) την αναδιαμόρφωση του λίπους (tempering) με τη βοήθεια της θέρμανσης, προκειμένου να κρυσταλλωθεί με σταθερό τρόπο το βούτυρο κακάο και να προκύψει μια σοκολάτα με λεία μορφή και 5) την μορφοποίηση-χύτευση, που συνήθως συνδυάζεται με την ανάμειξη κι άλλων προαιρετικών συστατικών. Στη μορφοποίηση, η σοκολάτα εναποτίθεται σε καλούπια προκειμένου να της δοθεί το επιθυμητό σχήμα και έπειτα ξεφορμάρεται. Επιπλέον, η σοκολάτα είναι δυνατόν να καλυφθεί, με ή χωρίς επιπλέον συστατικά, όπως είναι οι ξηροί καρποί, σπόροι ή φρούτα και τελικά να συσκευαστεί (Gutiérrez, 2017).

6.1 Ραφινάρισμα

Σκοπός της διαδικασίας είναι η μείωση των σωματιδίων της μάζα της σοκολάτας ώστε αυτά να αποκτήσουν μέγεθος της τάξεως 10^{-6} m (Μπουκίδης, 2021). Εφόσον η μάζα κακάο έχει αλεσθεί σωστά, ο πρωταρχικός σκοπός του ραφινάρισματος είναι να αλεστεί η ζάχαρη, και όσον αφορά τη σοκολάτα γάλακτος να αλεστούν τα σωματίδια της σκόνης γάλακτος (Ziegler & Hogg, 2017). Η μείωση του μεγέθους των στερεών σωματιδίων της σοκολάτας παίζει πρωταρχικό ρόλο στον καθορισμό της αίσθησης της σοκολάτας στο στόμα, στην γεύση και στην ρεολογία της. Πρακτικά, το ραφινάρισμα μετατρέπει μια αδρή πάστα σοκολάτας, που θα μπορούσε να παρομοιαστεί με υγρή άμμο σε μια λεία σκόνη, η οποία στη συνέχεια υγροποιείται (κονσάρισμα) (Legarreta, Smith, Fryer, Ingram, & Bakalis). Πάνω στην επιφάνεια των κυλίνδρων δημιουργείται ένα λεπτό στρώμα σοκολάτας (φιλμ σοκολάτας), όπου παράλληλα συμβαίνουν και αντιδράσεις ανάπτυξης του αρώματος (Μπουκίδης, 2021).

Η διαδικασία του ραφινάρισματος, δηλαδή η λεπτή άλεση της κακάομαζας, συνήθως πραγματοποιείται με την χρήση μηχανής πέντε κυλίνδρων ραφιναδόρου. Τέσσερις κύλινδροι άλεσης, μήκους έως 2,5 m και 400 mm σε διάμετρο, ευθυγραμμισμένοι κάθετα σχηματίζουν μια στοίβα (βλ. Εικόνα 43). Ο κύλινδρος "τροφοδοσίας" (R1) είναι τοποθετημένος υπό γωνία σε σχέση με τον χαμηλότερο κύλινδρο της στοίβας (R2). Η απόδοση και η τελική λεπτότητα της σοκολάτας ρυθμίζεται από τον ρυθμό της τροφοδοσίας και από την αλλαγή του διάκενου του κυλίνδρου R1 με σταθερή ταχύτητα ή αλλιώς με αλλαγή ταχύτητας του κυλίνδρου με σταθερό διάκενο. Όταν το διάκενο παραμένει σταθερό, οι μεγαλύτερες ταχύτητες των κυλίνδρων έχουν σαν αποτέλεσμα μεγαλύτερη απόδοση του προϊόντος αλλά και πιο αδρή σοκολάτα. Ωστόσο, οι κύλινδροι προοδευτικά περιστρέφονται ταχύτερα από το κάτω μέρος (R2) προς την κορυφή (R5), αφού το διάκενο γίνεται και αυτό αντιστοίχως πιο στενό. Ουσιαστικά, ο ραφιναδόρος κυλίνδρων είναι ένα σύνολο διατάξεων μονής διέλευσης. Το φιλμ σοκολάτας που εξέρχεται από το κάθε διάκενο μεταφέρεται στον αμέσως επόμενο, ταχύτερο, κύλινδρο, κινούμενο προς τα πάνω, μέχρι να αποξεσθεί από τον τελικό κύλινδρο με ένα σταθερό μαχαίρι. Μεταξύ των κυλίνδρων εφαρμόζεται υδραυλική πίεση προκειμένου να επιτευχθεί ομοιόμορφη επικάλυψη ολόκληρου του κυλίνδρου από την σοκολάτα (Ziegler & Hogg , 2017).

Η ελάττωση του μεγέθους είναι αποτέλεσμα συνδυασμού συμπίεσης και διάτμησης, που έχει σαν αποτέλεσμα το μέγεθος των τελικών σωματιδίων να είναι της τάξης των 15-35 μm (Ziegler & Hogg , 2017).



Εικόνα 43: Η διάταξη των κυλίνδρων του ραφιναδόρου και η λειτουργία του (Πηγή: <https://www.birmingham.ac.uk/Documents/college-eps/chemical/eng-d/projects/abstracts/engd-legarreta.pdf>)

6.2 Κονσάρισμα

Το κονσάρισμα αποτελεί μια από τις τελευταίες διαδικασίες στην οποία υποβάλλεται η σοκολάτα και δίνει στον παρασκευαστή την τελική ευκαιρία για να μπορέσει να δώσει στο προϊόν την κατάλληλη γεύση που απαιτείται να έχει. Παρόλα αυτά, το κονσάρισμα δεν έχει την δυνατότητα να αποκαταστήσει διάφορα λάθη που πιθανώς έχουν συμβεί στην διεξαγωγή προηγούμενων διεργασιών, όπως για παράδειγμα δεν μπορεί να εξαλείψει το άρωμα καπνού ή την μούχλα που μπορεί να έχει αναπτυχθεί λόγω εσφαλμένης ξήρανσης των κόκκων, ούτε έχει τη δυνατότητα να δώσει σε ένα κακάο κατώτερης ποιότητας την γεύση ενός ποιοτικά ανώτερου. (Beckett , Paggios, & Roberts, Conching, 2017). Για την παρασκευή της σοκολάτας χρειάζονται τα τρία βασικά συστατικά (κακαοπολτός, ζάχαρη, βούτυρο κακάο) τα οποία αναμιγνύονται και στη συνέχεια αλέθονται ώστε το μέγεθος των κόκκων να γίνει μικρότερο από 30 μm. Το κονσάρισμα, λοιπόν, γίνεται προκειμένου να διασφαλιστεί πως όλα τα σωματίδια έχουν επικαλυφθεί με λίπος. Στο κονσάρισμα, η σοκολάτα υποβάλλεται σε συνεχή ανάδευση, για αρκετές ώρες, στους 30°C. Το κονσάρισμα δεν είναι απλή ανάμιξη των συστατικών, καθώς αυτό επιφέρει πολλές μεταβολές στην σοκολάτα. Η συγκεκριμένη επεξεργασία χρειάζεται ενέργεια και χρόνο και προκαλεί αισθητή μεταβολή στην γεύση, όπως και ελάττωση του ιξώδους εξαιτίας της αδιάκοπης ανάμιξης και της έκλυσης θερμότητας από την τριβή. Προκειμένου το κονσάρισμα να έχει το επιθυμητό αποτέλεσμα απαιτείται να υπάρχει η κατάλληλη ισορροπία μεταξύ θερμοκρασίας, χρονικής διάρκειας της διαδικασίας, αερισμού και ανάδευσης. Γενικά, το κονσάρισμα έχει συγκεκριμένους στόχους οι οποίοι είναι: η διαμόρφωση της γεύσης, η απομάκρυνση των πτητικών ενώσεων, η ανάπτυξη του σκούρου χρώματος, η σταθεροποίηση του ιξώδους και η ελάττωση της περιεκτικότητας σε υγρασία της τελικής σοκολάτας (Gutiérrez, 2017).



Εικόνα 44: Η κόνσα πριν την προσθήκη κακαόμαζας και πρόσθετων συστατικών (Πηγή: <https://thechocolatelife.com/ama-ask-me-anything-about-cocoa-or-chocolate-8-what-is-conching/>)



Εικόνα 45: Η κόνσα έπειτα από την προσθήκη κακαόμαζας και πρόσθετων συστατικών (Πηγή: <https://www.sciencetimes.com/articles/21708/20190514/scientists-unlock-complex-mixture-principle-in-physics-by-studying-chocolate-production.htm>)

Ακόμα και έπειτα από την σωστή ζύμωση, ξήρανση και το κατάλληλο καβούρδισμα, η γεύση της κακαόμαζας είναι πολύ όξινη, πράγμα που δεν είναι ευχάριστο για τους περισσότερους καταναλωτές. Ένα μεγάλο μέρος των ανεπιθύμητων πτητικών ενώσεων που απομακρύνονται κατά το κονσάρισμα, είναι από τις ενώσεις που σχηματίστηκαν στο στάδιο της ζύμωσης, της ξήρανσης και του καβουρδίσματος (Maillard). (González , Acosta , Mazo Rivas , Alvarez , & Muñoz , 2022)

Το κονσάρισμα γίνεται προκειμένου να αποβληθούν οι πιο δυσάρεστες γεύσεις και να παραμείνουν στην σοκολάτα οι πιο επιθυμητές. Όμως, υπάρχει πιθανότητα η σοκολάτα να υποστεί υπερ-κονσάρισμα με αποτέλεσμα το προϊόν που θα παραχθεί να είναι άνοστο και ελλιπές από τα επιθυμητά αρώματα. Η αρχική ένταση της γεύσης του κακάο που χρησιμοποιείται και το προϊόν για το οποίο προορίζεται, παίζουν ρόλο ως προς το ποια είναι η απαιτούμενη γεύση για το τελικό προϊόν αλλά και για τον χρόνο που θα διαρκέσει το κονσάρισμα. Βέβαια, υπάρχουν περιπτώσεις που οι όξινες νότες του κακάο είναι επιθυμητές, όπως όταν η σοκολάτα χρησιμοποιείται σε προϊόν που περιέχει ισχυρή γεύση (π.χ. δυόσμος ή μέντα), προκειμένου η γεύση της σοκολάτας να μην υπερκαλύπτεται εντελώς. (Beckett , Paggios, & Roberts, Conching, 2017)

Ειδικότερα, το κονσάρισμα μετατρέπει την εύθρυπτη μάζα κακάο, η οποία έχει αναμιχθεί με τα υπόλοιπα υλικά, σε ένα ρευστό υγρό, το οποίο πλέον μπορεί να εναποτεθεί σε καλούπια και να διαμορφωθεί όπως επιθυμεί ο κατασκευαστής. Το βούτυρο κακάο είναι αυτό που κάνει την σοκολάτα να λιώνει όταν αυτή θερμαίνεται, την κάνει να είναι ρευστή και να παίρνει τα διάφορα σχήματα των καλουπιών, αλλά και να έχει αυτή την γνωστή λεία υφή στο στόμα. Η κακαόμαζα, ακόμα και μετά την ανάμιξη των συστατικών,

δεν είναι τόσο ρευστή όσο επιθυμείται, αφού οι πλειονότητα των επιφανειών της ζάχαρης και των υπόλοιπων στερεών συστατικών δεν έχουν επικαλυφθεί από το λίπος. Το κονσάρισμα βοηθάει στην επικάλυψη αυτών των συστατικών με λίπος, ούτως ώστε να μπορούν τα συστατικά να «γλιστρούν» το ένα δίπλα από το άλλο και κατά συνέπεια όλη η κακάο-μαζα να έχει μια ρευστή όψη. Τέλος, κάποια σωματίδια των συστατικών μπορεί να σχηματίσουν συσσωματώματα εξαιτίας της παρουσίας της υγρασίας, τα οποία διασπώνται με την δράση του κονσαρίσματος. (Beckett , Paggios, & Roberts, Conching, 2017)

Μια ακόμα σημαντική παράμετρος που μειώνεται κατά την διάρκεια του κονσαρίσματος είναι η υγρασία. Το νερό στην σοκολάτα λειτουργεί πηκτικά. Πιο συγκεκριμένα, έχει υπολογιστεί πως για κάθε 0,3% υγρασίας που παραμένει στην μάζα του κακάο, θα πρέπει να προστεθεί επιπλέον 1% λίπος έτσι ώστε να αποκατασταθεί το ιξώδες της σοκολάτας. Παρατηρείται λοιπόν, πως στην πράξη, η αφαίρεση του νερού από την μάζα της σοκολάτας είναι ιδιαίτερα συμφέρουσα από οικονομική άποψη, αφού το κόστος του λίπους που θα χρειαζόταν να προστεθεί είναι αρκετά υψηλό. Βέβαια, ένα σημαντικό ποσοστό της υγρασίας, λιγότερο από 1%, είναι ενσωματωμένο στα συστατικά και επομένως δεν είναι ιδιαίτερα πιθανό να έχει αντίκτυπο στις ιδιότητες ροής της σοκολάτας. (Beckett , Paggios, & Roberts, Conching, 2017). Σε έναν 12ωρο κύκλο κονσαρίσματος, το μεγαλύτερο ποσοστό της υγρασίας θα αποβληθεί στα αρχικά στάδια του κύκλου. Ακόμα, είναι ιδιαίτερα πιθανό η αποβολή της υγρασίας να επιδράσει στην γεύση της σοκολάτας, απομακρύνοντας με τον ατμό και ορισμένα συστατικά που συνεισφέρουν στην γεύση. Παρόλα αυτά, η όξινη γεύση έχει καθοδική πορεία σε ολόκληρη της διαδικασία του κονσαρίσματος. (Beckett , Paggios, & Roberts, Conching, 2017).

Μια επιπλέον σημαντική παράμετρος είναι ο επαρκής αερισμός κατά την διάρκεια του κονσαρίσματος, προκειμένου να μπορεί η υγρασία και οι υπόλοιπες πτητικές ουσίες να απομακρυνθούν. Το γέμισμα της κόνσας (βλ. Εικόνες 44 και 45) λερώνει και σκονίζει της θύρες αερισμού της, με αποτέλεσμα ορισμένες από αυτές να μπλοκάρονται και να μην λειτουργούν αποδοτικά. Πέρα από το γεγονός ότι αποτελεί κίνδυνο για την υγιεινή, οι μπλοκαρισμένες θύρες αερισμού μειώνουν την απόδοση της κόνσας και αυξάνουν τον χρόνο που διαρκεί η διαδικασία. Εναλλακτική αποτελεί ο εξαναγκασμένος αερισμός που γίνεται με χρήση ανεμιστήρων οι οποίοι φυσούν ή ρουφούν αέρα μέσα στην κόνσα, με

αποτέλεσμα την μείωση του χρόνου κονσαρίσματος. (Beckett , Paggios, & Roberts, Conching, 2017).

Η θερμοκρασία που χρησιμοποιείται κατά την διάρκεια του κονσαρίσματος εξαρτάται από τα συστατικά που έχουν χρησιμοποιηθεί για την παρασκευή της σοκολάτας αλλά και από την γεύση που επιθυμείται να επιτευχθεί. Για παράδειγμα, αν η γεύση που επιθυμείται είναι η «μαγειρεμένη» (η γεύση που αποκτάται μετά την αντίδραση Maillard), τότε είναι δυνατόν να εφαρμοστούν θερμοκρασίες άνω των 100°C. Αν ο στόχος είναι να επικρατεί στην σοκολάτα μια πιο γαλακτώδης γεύση, θα πρέπει να αποφευχθούν οι γεύσεις που προκύπτουν από την αντίδραση Maillard και κατά συνέπεια η θερμοκρασία οφείλει να είναι χαμηλότερη, ίσως και κάτω από 50°C. Η γεύση που θα αποκτήσει η σοκολάτα αποτελεί έναν συνδυασμό χρόνου και θερμοκρασίας, για παράδειγμα μια χαμηλότερη θερμοκρασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα και το αντίστροφο. (Beckett , Paggios, & Roberts, Conching, 2017)

Ο παραδοσιακός τρόπος που γίνεται το κονσάρισμα αποτελείται από τρία στάδια ή φάσεις, τα οποία όμως δεν εφαρμόζονται σε όλες τις συνταγές σοκολάτας ή σε όλους τους τύπους κονσαρίσματος. Οι τρεις φάσεις χωρίζονται ως εξής:

A) Πρώτη ή Ξηρή φάση: η κακαόμαζα έχει εύθρυπτη υφή και σε αυτό το στάδιο απομακρύνεται η υγρασία.

B) Δεύτερη ή Παχύρευστη φάση: η σοκολάτα πλέον έχει μια παχύρευστη μορφή και η κόνσα δουλεύει στο μέγιστο

Γ) Τρίτη ή Υγρή φάση: τελική προσθήκη λίπους ή/και γαλακτωματοποιητών και ανάδευση με υψηλή ταχύτητα. (Beckett , Paggios, & Roberts, Conching, 2017)

Στην πρώτη ή ξηρή φάση (βλ. Εικόνα 46), η υγρασία και οι ανεπιθύμητες πτητικές ενώσεις υφίστανται μείωση, ενώ η επιθυμητή γεύση ενισχύεται (González , Acosta , Mazo Rivas , Alvarez , & Muñoz , 2022). Στην αρχή της ξηρής φάσης, η κακαόμαζα προστίθεται στην κόνσα σχεδόν σε μορφή σκόνης, συνήθως μαζί με ένα μικρό ποσοστό λίπους, γύρω στο 1% (Beckett , Paggios, & Roberts, Conching, 2017).



Εικόνα 46: Πρώτη ή ξηρή φάση κονσαρίσματος (Πηγή: <https://blog.equalexchange.coop/organic-cacao-bean-bar/chocolate-is-agitated-within-a-conching-machine/>)

Η υγρασία και οι ανεπιθύμητες πτητικές ενώσεις είναι εύκολο να απομακρυνθούν σε αυτό το στάδιο, με την προϋπόθεση ότι η κόνσα αερίζεται επαρκώς (Beckett , Paggios, & Roberts, Conching, 2017) (González , Acosta , Mazo Rivas , Alvarez , & Muñoz , 2022). Σε αρκετές σοκολάτες γάλακτος, το ποσοστό της υγρασίας πριν το κονσάρισμα αποτελεί περίπου το 1,6% και ο στόχος είναι να μειωθεί γύρω στο 1%, αν όχι λιγότερο. Όμως, η υγρασία είναι πολύ δύσκολο να απομακρυνθεί σε ποσοστό κάτω από το 0,8%, πράγμα που μπορεί να μην είναι και οικονομικά βιώσιμο να συμβεί. Όσον αφορά την μαύρη σοκολάτα, η αρχική της υγρασία μπορεί να είναι ήδη λιγότερη από 1%, οπότε θα πρέπει να διασφαλιστεί πως η σοκολάτα δεν θα προσλάβει παραπάνω υγρασία. Γενικότερα, δεν θα πρέπει να διεξάγεται το κονσάρισμα της μαύρης σοκολάτας και της σοκολάτας γάλακτος στον ίδιο χώρο με ανοικτές κόνσες, αφού η μεταφορά της υγρασίας και των πτητικών ουσιών από τη μία σοκολάτα στην άλλη, μπορεί να προκαλέσει αλλοιώσεις στην γεύση των προϊόντων. (Beckett , Paggios, & Roberts, Conching, 2017)

Στην δεύτερη ή παχύρευση φάση, τροποποιείται η ρεολογία της κακαόμαζας καθώς το λίπος καλύπτει την επιφάνεια των στερεών συστατικών, μειώνοντας έτσι το ιξώδες (Beckett , Paggios, & Roberts, Conching, 2017) (González , Acosta , Mazo Rivas , Alvarez , & Muñoz , 2022). Όταν ξεκινάει η παχύρευση φάση, η σοκολάτα έχει υψηλή ενέργεια, την οποία έχει αποκτήσει από το τέλος της ξηρής φάσης όπου συμβαίνει η ανάμειξη, με απο-

τέλεσμα η θερμοκρασία να αυξάνεται με γρήγορους ρυθμούς. Για αυτό το λόγο, η θερμοκρασία μέσα στην κόνσα θα πρέπει να ελέγχεται προκειμένου να παραμένει σταθερή και το προϊόν να αποκτήσει την επιθυμητή γεύση (Gutiérrez, 2017). Όταν η σοκολάτα αποκτήσει παχύρρευστη όψη, η μείωση του ιξώδους αρχίζει να γίνεται αντιληπτή, λόγω της αποβολής υγρασίας αλλά και εξαιτίας της επικάλυψης πολλών στερεών σωματιδίων με λίπος (Beckett , Paggios, & Roberts, Conching, 2017). Το ιξώδες θα πρέπει να ελέγχεται αρκετά συχνά προκειμένου να εξασφαλιστεί το βέλτιστο προϊόν (González , Acosta , Mazo Rivas , Alvarez , & Muñoz , 2022).

Καταλήγοντας στην τρίτη ή υγρή φάση, προστίθενται οι τελικές προσθήκες βουτύρου κακάο ή/και γαλακτωματοποιητή στην σοκολάτα (González , Acosta , Mazo Rivas , Alvarez , & Muñoz , 2022). Σε αυτό το στάδιο, η μάζα σοκολάτας υγροποιείται και υφίσταται ομογενοποίηση. Για αυτό, απαιτείται να παρέλθει επαρκής χρόνος προκειμένου το ιξώδες να ισορροπήσει. Γενικότερα, αυτό το στάδιο διαρκεί λιγότερο σε σχέση με τα προηγούμενα, καθώς η γεύση δεν υφίσταται κάποια πολύ μεγάλη αλλαγή. Τέλος, μετά από διάφορες έρευνες έχει αποδειχτεί πως οι καταναλωτές έχουν μεγαλύτερη προτίμηση σε σοκολάτες που έχουν επεξεργαστεί με μεγαλύτερη χρονικά την ξηρή φάση του κονσαρίσματος συγκριτικά με εκείνες που επεξεργάστηκαν με πιο μακρά υγρή φάση. (Beckett , Paggios, & Roberts, Conching, 2017)

6.3 Αναδιαμόρφωση του λίπους (Tempering)

Η αναδιαμόρφωση του λίπους είναι μια τεχνική ελεγχόμενης προ-κρυστάλλωσης, η οποία εφαρμόζεται προκειμένου να δημιουργηθεί μια θερμοδυναμικά πιο σταθερή πολυμορφική δομή στο βούτυρο κακάο της σοκολάτας. Αυτό πρακτικά, έχει σαν αποτέλεσμα την λαμπερή και στιλπνή εμφάνιση του τελικού προϊόντος και επιτυγχάνεται έτσι, η χαρακτηριστική θραύση της σοκολάτας και οι ιδιότητες που την κάνουν να λιώνει στο στόμα, (σε θερμοκρασία σώματος), η συστολή αλλά και ο χρόνος ζωής του προϊόντος στο ράφι (Afoakwa , Paterson, Fowler, & Vieira, 2008).

Ακόμα, η αναδιαμόρφωση του λίπους εμποδίζει την «άνθιση» του λίπους (fat blooming) δηλαδή τον διαχωρισμό του λίπους από την σοκολάτα και την εμφάνιση αυτού στην επιφάνειά της, και προκαλεί μια μικρή συρρίκνωση (συστολή) στην σοκολάτα καθώς αυτή σκληραίνει, πράγμα που κάνει το ξεκαλούπωμα ευκολότερο (Laughter , Brown , &

Anantheswaran, 2012). Συμπεραίνεται λοιπόν, πως τα περισσότερα και πιο σημαντικά φυσικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά της σοκολάτας, εξαρτώνται από τον σχηματισμό του κρυσταλλικού δικτύου των λιπιδίων που συντίθενται στην κρυστάλλωση. Στη βιομηχανία, η διαδικασία της αναδιαμόρφωσης του λίπους είναι ιδιαίτερα σημαντική και παίζει μεγάλο ρόλο στα ποιοτικά χαρακτηριστικά της σοκολάτας. Η κατάλληλη ποσότητα λίπους που θα πρέπει να κρυσταλλωθεί ούτως ώστε να είναι αποτελεσματική η αναδιαμόρφωση δεν έχει καθοριστεί με ακρίβεια, παρόλα αυτά πιθανώς εντοπίζεται μεταξύ 1 και 3% (Gutiérrez, 2017).

Η λιωμένη σοκολάτα, όντας ακόμα ζεστή (40 °C και άνω) αδειάζεται από το μπλέντερ και φυλάσσεται σε δοχεία στην ίδια θερμοκρασία έως ότου επεξεργαστεί. Τα δοχεία είναι δυνατόν να χωρούν μέχρι και 20 τόνους ρευστής σοκολάτας και απαιτείται να αποθηκεύονται σε ξηρό περιβάλλον (Gutiérrez, 2017). Υπάρχουν τρεις παράμετροι οι οποίοι επηρεάζουν το μέγεθος, τον τύπο και το ποσοστό των κρυστάλλων του λίπους που αποκομίζονται: ο χρόνος, η θερμοκρασία και η ανάδευση. Αν η σοκολάτα αναμιχθεί πλημμυρώς, τότε μπορεί να προκύψει διαχωρισμός του βουτύρου κακάο, το οποίο στη συνέχεια θα αναδυθεί στην επιφάνεια της σοκολάτας, στο πάνω μέρος του δοχείου, ενώ το πυκνότερο κακάο θα έχει κατακαθίσει στον πυθμένα. (Gutiérrez, 2017).

Συχνά, για να παραμείνει η σοκολάτα ρευστή, η θερμοκρασία της δεξαμενής είναι σταθερή στους 45°C. Η φύλαξη της σοκολάτας σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από αυτήν για αρκετό καιρό, θα επιφέρει μεταβολές ως προς την γεύση της σοκολάτας και θα προκαλέσει την μετουσίωση των πρωτεϊνών του γάλακτος, οι οποίες στη συνέχεια θα σχηματίσουν συσσωματώματα που θα κάνουν την σοκολάτα να έχει πιο πυκνή υφή. Αντίθετα, στην περίπτωση που η θερμοκρασία είναι αρκετά χαμηλή, μπορεί να συμβεί κρυστάλλωση η οποία θα οδηγήσει την σοκολάτα σε στερεοποίηση. Στην διάρκεια της αναδιαμόρφωσης του λίπους, ιδιαίτερο παράγοντα αποτελεί και η υγρασία, τα επίπεδα της οποίας θα πρέπει να παραμένουν χαμηλά, αφού η σοκολάτα τείνει να προσλαμβάνει υγρασία. Ακόμα και μια πολύ μικρή ποσότητα υγρασίας είναι ικανή να επιφέρει την συγκόλληση μεταξύ των σωματιδίων της ζάχαρης, πράγμα που αυξάνει το ιξώδες και δυσκολεύει την περαιτέρω επεξεργασία. Επιπλέον, η αναδιαμόρφωση του λίπους προσδίδει στην σοκολάτα μια παραπάνω σταθερότητα σε υψηλές θερμοκρασίες, με αποτέλεσμα την άμεση επίδραση

στα οργανοληπτικά χαρακτηριστικά της. Ωστόσο, ο βασικός σκοπός που γίνεται η αναδιαμόρφωση του λίπους στην σοκολάτα είναι για να σχηματιστεί η πιο σταθερή μορφή στο βούτυρο κακάο. (Gutiérrez, 2017)

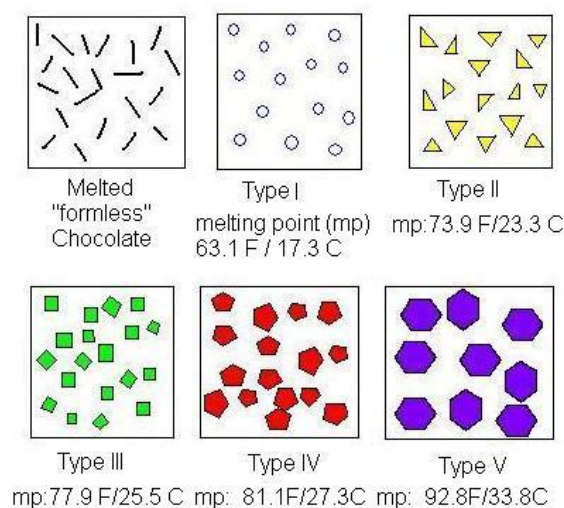
6.3.1 Πολυμορφισμός του βουτύρου κακάο

Ο πολυμορφισμός, είναι ένα φαινόμενο που αφορά την ύπαρξη πολλών διαφορετικών κρυσταλλικών μορφών ή δομών της ίδιας ουσίας, εξαιτίας μεταβολών στην χωροδιάταξη των μορίων της που διαμορφώνουν τον κρύσταλλο (Afoakwa, Paterson, Fowler , & Vieira, 2009). Στην στερεή φάση, οι διαφορετικές κρυσταλλικές μορφές μιας συγκεκριμένης ένωσης θα παρουσιάζουν διαφορετικές φυσικές ιδιότητες, όμως θα εμφανίζουν παρόμοια συμπεριφορά σε ένα διάλυμα. Η κάθε κρυσταλλική μορφή έχει μια ξεχωριστή, μοναδική δομή, και κατά συνέπεια, έχει τις δικές της ξεχωριστές χημικές και φυσικές ιδιότητες (Gutiérrez, 2017).

Το βούτυρο κακάο μπορεί να κρυσταλλωθεί σε διάφορες μορφές ανάλογα με τις συνθήκες επεξεργασίας του (χρόνος, θερμοκρασία αποθήκευσης κ.α.). (Afoakwa, Paterson, Fowler , & Vieira, 2009). Ο πολυμορφισμός στο βούτυρο κακάο δεν είναι απλός, καθώς η πλειονότητα των τριγλυκεριδίων που απαρτίζουν το βούτυρο κακάο εμφανίζει πολύπλοκο πολυμορφισμό. Αυτό πρακτικά υποδηλώνει, ότι κάθε είδος τριγλυκεριδίου μπορεί να στερεοποιηθεί σε οποιαδήποτε κρυσταλλική μορφή, με τις δικές του ανεξάρτητες φυσικές ιδιότητες, όπως για παράδειγμα το σημείο τήξης και την μορφολογία του κρυστάλλου (Gutiérrez, 2017).

Επί της ουσίας, η διαδικασία της αναδιαμόρφωσης του λίπους περιλαμβάνει την διάτμηση της μάζας του κακάο κάτω από ελεγχόμενες θερμοκρασίες προκειμένου να επέλθει η κρυστάλλωση των τριγλυκεριδίων (TAGs) που περιέχονται στο βούτυρο κακάο αλλά και να επιτευχθούν οι επιθυμητές ιδιότητες του τελικού προϊόντος (Afoakwa , Paterson, Fowler, & Vieira, 2008).

Συγκριτικά με τα υπόλοιπα διαθέσιμα λίπη στο εμπόριο, το βούτυρο κακάο είναι αυτό που έχει την φυσική ιδιότητα να διαμορφώνει ξεχωριστές κρυσταλλικές δομές, που η κάθε μία έχει ξεχωριστό σημείο τήξης. Αυτές οι κρυσταλλικές δομές διαμορφώνονται όταν η σοκολάτα παρασκευάζεται. Ωστόσο, το τελικό προϊόν απαιτείται να λιώνει σε θερμοκρασία παρόμοια με αυτή του ανθρώπινου σώματος, ούτως ώστε να είναι σίγουρο πως όταν καταναλωθεί θα λιώσει στο στόμα (Gutiérrez, 2017).



Εικόνα 47: Δομές I-VI των κρυστάλλων του βουτύρου κακάο (Πηγή: <https://chocolatealchemy.com/tempering-deconstruction-and-reconstruction-illustrated-tempering>)

Το βούτυρο κακάο συνίσταται από ένα μίγμα περίπου 40-50 διαφορετικών τριγλυκεριδίων (TAGs). Τα επικρατέστερα λιπαρά οξέα στο βούτυρο κακάο και οι κατά προσέγγιση αναλογίες τους είναι ελαϊκό οξύ (C 18:1, 35%), το στεατικό οξύ (C 18:0, 34%) και το παλμιτικό οξύ (C 16:0, 26%). (Afoakwa, Paterson, Fowler, & Vieira, 2008) (Afoakwa, Paterson, Fowler, & Vieira, 2009). Οι κύριες τριακυλογλυκερόλες του βουτύρου κακάο είναι οι POS, POP και SOS (το S υποδηλώνει το στεατικό οξύ, το P το παλμιτικό οξύ και το O το ελαϊκό οξύ) ανάλογα με τη θέση που έχει δημιουργηθεί ο εστερικός δεσμός μεταξύ των λιπαρών οξέων και του μορίου της γλυκερόλης. (Windhab, 2017).

Έχουν γίνει γνωστές έξι πολυμορφικές δομές του βουτύρου κακάο (I-VI) (βλ. Εικόνα 47). Ακόμα, τα τριγλυκερίδια εξαρτώνται από την σύνθεσή του λιπαρού οξέος και από την θέση αυτού μέσα στο μόριο του τριγλυκεριδίου. Τα ακυλογλυκερίδια εμφανίζουν πολυμορφισμούς, κρυσταλλώνουν δηλαδή ως προς τρεις κύριες κρυσταλλικές μορφές ή αλλιώς πολυμορφήματα (πλακίδια μεγέθους περίπου 1 μm με διαφορετικά σημεία τήξης): τα α, β' και β (Belitz, Grosch, & Schieberle, 2018). Η μορφή α έχει το χαμηλότερο σημείο τήξης και παρουσιάζει την μικρότερη σταθερότητα. Αύτη στη συνέχεια, με θέρμανση, μετασχηματι-

ζεται πρώτα σε β'- μορφή και έπειτα στην β – μορφή, η οποία είναι το πιο σταθερό πολύμορφο, με το υψηλότερο σημείο τήξης (Marangoni, 2002) (Belitz, Grosch, & Schieberle, 2018). Οι δομές I (σ.τ. 16-18 °C) και II (22-24 °C) είναι ασταθείς και μετατρέπονται με αργό ρυθμό στις δομές III (24-26 °C) και IV (26-28 °C), των οποίων οι δομές είναι λιγότερο σταθερές, αλλά με την βέλτιστη εφαρμογή της διεργασίας της αναδιαμόρφωσης του λίπους (tempering), μετασχηματίζονται στη σταθερότερη δομή V (32-34 °C). Η δομή V, μορφή β, είναι ο κρύσταλλος που επιθυμείται περισσότερο και απαντάται στην σοκολάτα που έχει υποστεί την βέλτιστη αναδιαμόρφωση του λίπους και προσδίδει γυαλάδα, καλή θραύση και αντίσταση στην «άνθιση» του λίπους. Η μορφή VI είναι ακόμα πιο σταθερή, όμως σχηματίζεται δύσκολα και έπειτα από μακροχρόνια αποθήκευση της σοκολάτας, συνοδευόμενη όμως, από την εμφάνιση της «άνθισης» του λίπους. Ακόμα η μορφή VI έχει σημείο τήξης στους 34-36 °C και οι κρύσταλλοί της γίνονται αισθητοί στην γλώσσα ως κοκκώδεις όταν η σοκολάτα καταναλωθεί (βλ. Πίνακα 2). Η μετατροπή των κρυστάλλων του βουτύρου κακάο από τις λιγότερο σταθερές μορφές στις πιο σταθερές είναι μη αναστρέψιμη και συμβαίνει ανάλογα με την θερμοκρασία και τον χρόνο. Οι μεταβολές των κρυστάλλων γίνονται αντιληπτές από την συνολική συρρίκνωση της σοκολάτας ή από τον σχηματισμό μη επιθυμητών λιπαρών κηλίδων πράγμα που εξαρτάται από τις σχετικές σταθερότητες των κρυσταλλικών μορφών και από τη θερμοκρασία. (Afoakwa, Paterson, Fowler & Vieira, 2009).

Αν το βούτυρο κακάο λιώσει και στη συνέχεια ψυχθεί με φυσικό τρόπο, οι κρύσταλλοι που θα περιέχονται θα αποτελούν ένα μίγμα των μορφών I-V. Γνωρίζοντας πως αυτές οι μορφές δεν είναι οι καταλληλότερες για την βέλτιστη ποιότητα της σοκολάτας και πως η μορφή V είναι η σταθερότερη, η σοκολάτα υφίσταται αναδιαμόρφωση του λίπους(βλ. Εικόνες 48 και 49).



Εικόνες 48 και 49: Σοκολάτα η οποία έχει υποστεί αναδιαμόρφωση του λίπους (δεξιά), συγκριτικά με σοκολάτα που δεν έχει λάβει ανάλογη επεξεργασία (αριστερά) (Πηγές: <https://desserthungry.blogspot.com/2014/10/tempering-chocolate-caramel-and-almond.html> και <https://www.chocolatespiel.com/blog/2019/5/16/how-to-make-chocolate-at-home-part-4-tempering>)

Αρχικά η λιωμένη σοκολάτα υποβάλλεται σε ψύξη προκειμένου να σχηματιστούν περισσότεροι κρύσταλλοι της μορφής V. Έπειτα η σοκολάτα αναθερμαίνεται σε θερμοκρασία ελάχιστα χαμηλότερη από το σημείο τήξης της μορφής V, ούτως ώστε να λιώσουν οι μορφές I-IV που έχουν χαμηλότερα σημεία τήξης και να παραμείνουν μόνο οι κρύσταλλοι της μορφής V. Έτσι η σοκολάτα αφήνεται να κρυώσει έχοντας παρόμοια δομή σε όλο της το σώμα. (Interest, 2014). Ένα ποιοτικό ελάττωμα που συναντάται στην σύγχρονη βιομηχανία ζαχαροπλαστικής είναι η «άνθιση» του λίπους. Αποτελεί ένα φυσικό φαινόμενο που εμφανίζεται ως λευκωπή θολότητα στην επιφάνεια της σοκολάτας και γενικότερα των σοκολατοσκευασμάτων. Αυτό το φαινόμενο αποδίδεται στην ανακρυστάλλωση που υφίσταται το βούτυρο κακάο όταν η σοκολάτα δεν έχει υποστεί επαρκή αναδιαμόρφωση λίπους ή αν αυτή έχει εκτεθεί σε υψηλές θερμοκρασίες κατά το στάδιο της αποθήκευσης ή της διανομής. Αποτέλεσμα της εμφάνισης της «άνθισης» του λίπους είναι απώλεια της ομοιόμορφης, λαμπερής όψης και της στιλπνότητας της σοκολάτας. Πολλές έρευνες έχουν δείξει πως η «άνθιση» του λίπους πιθανόν οφείλεται: α) στην μετατροπή των κρυστάλλων από την μορφή V στην μορφή VI κατά την διάρκεια της μακροχρόνιας αποθήκευσης των προϊόντων σοκολάτας και β) στην τήξη και ανακρυστάλλωση σε κρυσταλλικές δομές χαμηλότερου σημείου τήξεως χωρίς να συμβεί εκ νέου η διαδικασία της αναδιαμόρφωσης του λίπους, πράγμα που οφείλεται στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας κατά την αποθήκευση. (Afoakwa, Paterson , Fowler , & Vieira , Fat bloom development and structure-appearance relationships during storage of under-tempered dark chocolate, 2009) Συγκεκριμένα, ο Beckett (2017) αναφέρει ότι υπάρχει πιθανότητα να εμφανιστεί το φαινόμενο της «άνθισης» του λίπους εξαιτίας του ανεπαρκούς σχηματισμού των κρυσταλλικών μορφών V κατά την αναδιαμόρφωση του λίπους. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την προώθηση

του υγρού κλάσματος του λίπους στην επιφάνεια της σοκολάτας, ιδίως αν αυτή φέρει στο σώμα της ρωγμές ή σχισμές (Windhab, 2017).

Όσον αφορά τα προϊόντα ζαχαροπλαστικής που περιέχουν γέμιση, συγκριτικά με τις απλές μπάρες σοκολάτας, είναι περισσότερο πολύπλοκα. Αυτό απορρέει από το γεγονός ότι η γέμιση που περιέχουν αποτελείται από λιπαρά ή υδατικά συστατικά, τα οποία μπορούν να μεταναστεύσουν στο σοκολατένιο κέλυφος που τα περιβάλλει και να δημιουργήσουν δομικές και οπτικές αλλοιώσεις. Ελαττώματα όπως η εμφάνιση ρωγμών στο κέλυφος ή η εξασθένηση αυτού, η σκλήρυνση της γέμισης και η εμφάνιση λευκής θολότητας στην επιφάνεια του προϊόντος («άνθισης του λίπους») έχει βρεθεί πως έχουν άμεση σχέση με την μετανάστευση ασταθών τριγλυκεριδίων ή υγρασίας από την γέμιση στο κέλυφος (Svanberg, Ahrné, Lorén, & Windhab, 2013).

Μορφές κρυστάλλων	Σημείο τήξης	Συνθήκες παραγωγής-μετατροπής κρυστάλλων	Χαρακτηριστικά
I	17,3°C	Γρήγορη ψύξη λιωμένης σοκολάτας	Μαλακή και εύθραπτη σοκολάτα με εμφανή «άνθιση» του λίπους
II	23,3°C	Ψύξη λιωμένης σοκολάτας στους 2°C - Από μορφή I σε μορφή II: βραχυχρόνια αποθήκευση σε θερμοκρασία κατάψυξης	
III	25,5°C	Ψύξη στους 5-10°C - Από μορφή II σε μορφή III: αποθήκευση σε θερμοκρασίες λίγο πάνω από τη θερμοκρασία κατάψυξης	Σκληρή, δεν δίνει την επιθυμητή θραύση και εμφανίζει μερική «άνθιση» του λίπους
IV	27,3°C	Ψύξη λιωμένης σοκολάτας σε θερμοκρασία δωματίου - Από μορφή III σε μορφή IV: αποθήκευση σε θερμοκρασία δωματίου για ορισμένο χρόνο	
V	33,8°C	Παράγεται έπειτα από εφαρμογή αναδιαμόρφωσης του λίπους σε θερμοκρασία δωματίου → Περισσότερο επιθυμητή μορφή	Γυαλιστερή, μαλακή υφή, καλή χαρακτηριστική θραύση και λιώνει στο στόμα
VI	36,3°C	Δεν μπορεί να σχηματιστεί από λιωμένη σοκολάτα – Σχηματίζεται από στερεή σοκολάτα που έχει υποστεί αναδιαμόρφωση του λίπους, έπειτα από τουλάχιστον 4 μήνες.	Σκληρή και λιώνει αργά στο στόμα, εμφανίζει μερική «άνθιση» του λίπους

Πίνακας 2: Παρουσιάζει τις διάφορες μορφές κρυστάλλων που σχηματίζονται στο βούτυρο κακάο, τις θερμοκρασίες τήξεώς τους, το πως παράγονται αυτοί και το ποια χαρακτηριστικά έχει η σοκολάτα αναλόγως την μορφή του κρυστάλλου.

Πηγή: <https://www.compoundchem.com/2014/04/19/the-polymorphs-of-chocolate/>

6.3.2 Εξοπλισμός αναδιαμόρφωσης του λίπους

Η σοκολάτα δεν αποτελεί καλό αγωγό της θερμότητας και ψύχεται ταχύτητα όταν αυτή μεταφέρεται στην μηχανή αναδιαμόρφωσης του λίπους, που κατά κανόνα είναι

φτιαγμένη από μέταλλο. Ουσιαστικά, οι μηχανές αναδιαμόρφωσης του λίπους είναι εναλλακτικές θερμότητας, όπου ο σχηματισμός κρυστάλλων είναι εφικτός λόγω των θερμοκρασιακών μεταβολών (Gutiérrez, 2017). Ακόμα, πρέπει να σημειωθεί ότι για τον σχεδιασμό συστημάτων αναδιαμόρφωσης του λίπους πρέπει να ληφθούν υπόψιν δυο θεμελιώδεις παράγοντες: ο χρόνος και η θερμοκρασία (Windhab, 2017).

Στο 1^ο στάδιο της αναδιαμόρφωσης του λίπους γίνεται η ψύξη της σοκολάτας σε θερμοκρασία που είναι εφικτός ο σχηματισμός των κρυστάλλων τύπου IV και τύπου V. Βέβαια, ο στόχος είναι στην πλειοψηφία να σχηματιστούν κρύσταλλοι τύπου V, έτσι η σοκολάτα ξανά θερμαίνεται στους 30°C, όπου επιτυγχάνεται το λιώσιμο πολλών ασταθών κρυστάλλων τύπου IV. Επομένως, οι μηχανές αναδιαμόρφωσης του λίπους απαιτείται να μπορούν να ελέγχουν ακριβώς την θερμοκρασία ανά πάσα στιγμή, αφού με αυτόν τον τρόπο καθορίζεται ο βαθμός αναδιαμόρφωσης του λίπους στην σοκολάτα. Οι περισσότερες μηχανές έχουν την δυνατότητα να μετρήσουν τη θερμοκρασία σε 3 ή 4 διαφορετικές ζώνες, ωστόσο υπάρχουν και μηχανές που λαμβάνουν μετρήσεις από περισσότερες ζώνες (Gutiérrez, 2017).

Γενικά, στην σοκολάτα, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, τόσο μειώνεται το ιξώδες της, γεγονός που διευκολύνει την χύτευσή της. Για αυτό το λόγο, η αναδιαμόρφωση του λίπους πρέπει να διεξάγεται στην μέγιστη δυνατή θερμοκρασία, χωρίς όμως να λιώνουν οι κρύσταλλοι της μορφής V, που όταν είναι νέο-σχηματισμένοι έχουν μικρό σχήμα και λιώνουν με ευκολία. Μέσω της αργής ανάδευσης και της προσοδευτικής θέρμανσης επιτυγχάνεται η παραγωγή σταθερότερων κρυστάλλων που εμφανίζουν υψηλότερο σημείο τήξης. Οι κρύσταλλοι που είναι πλήρως ανεπτυγμένοι ονομάζονται ώριμοι κρύσταλλοι, (Gutiérrez, 2017) η παρουσία των οποίων είναι αναγκαία στα προϊόντα σοκολάτας μετά την αναδιαμόρφωση του λίπους και πριν την χύτευση/μορφοποίηση (Windhab, 2017).

Η ωρίμανση των κρυστάλλων είναι πολύ σημαντική καθώς έχει παρατηρηθεί πως σε πολλές συμβατικές διαδικασίες αναδιαμόρφωσης του λίπους ο χρόνος διεξαγωγής της διαδικασίας δεν ήταν αρκετός, ιδιαίτερα για προϊόντα σοκολάτας που περιείχαν υψηλά επίπεδα βουτύρου κακάο. Μια ατελής ή κακή αναδιαμόρφωση του λίπους έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη ασταθών μορφών των κρυστάλλων (δομές α ή βIV αντί για βV), οι οποίες επηρεάζουν αρνητικά την στερεοποίηση, την πήξη και την συστολή, προκαλούν την

εμφάνιση διαφορών στο χρώμα της σοκολάτας, όπως και την εμφάνιση του φαινομένου της «άνθισης» του λίπους (Windhab, 2017).

6.3.3 Αναδιαμόρφωση του λίπους χειρωνακτικά

Για παραγωγή σοκολάτας σε μικρή κλίμακα, όπου οι ποσότητες που θα παραχθούν δεν είναι τόσο υψηλές ώστε να χρήζουν ειδικό εξοπλισμό, τις περισσότερες φορές η αναδιαμόρφωση του λίπους γίνεται ως εξής: χρησιμοποιείται ένας πάγκος από μάρμαρο ή γρανίτη και η σοκολάτα θερμαίνεται σε διαφορετικές θερμοκρασίες και διαφορετικές ζώνες (βλ. Εικόνα 50). Έτσι, η σοκολάτα αφήνεται στην θερμότερη ζώνη μέχρι να λιώσει και έπειτα το ρευστό μεταφέρεται με την βοήθεια μιας ξύστρας σε μια πιο ψυχρή επιφάνεια όπου θα ενεργοποιηθεί ο σχηματισμός των κρυστάλλων. Εν συνεχεία η σοκολάτα αποξέεται ξανά στην θερμή περιοχή του πάγκου και παραμένει εκεί για μικρό χρονικό διάστημα ώσπου να λιώσουν οι κρύσταλλοι που είναι ασταθείς. Τελικά, η σοκολάτα μεταφέρεται στο καλούπι ή στα καλούπια όπου και ψύχεται (Gutiérrez, 2017).

Η αναδιαμόρφωση του λίπους χειρωνακτικά είναι περισσότερο τέχνη παρά επιστήμη. Οι ειδικοί αυτής της τεχνικής είναι ικανοί να διαπιστώσουν τον βαθμό αναδιαμόρφωσης του λίπους στην σοκολάτα, αρκεί μόνο να τρίψουν μια μικρή ποσότητα σοκολάτας στα χείλη τους. Οι ειδικοί καταλαβαίνουν ότι η σοκολάτα έχει υποστεί σωστή αναδιαμόρφωση του λίπους αν αυτή αφήνει ένα συγκεκριμένο αίσθημα δροσιάς (Gutiérrez, 2017).



Εικόνα 50: Αναδιαμόρφωση του λίπους χειρωνακτικά χρήσει σπάτουλας (Πηγή: <https://science.howstuffworks.com/innovation/edible-innovations/chocolate4.htm>)

6.3.4 Μέτρηση του βαθμού αναδιαμόρφωσης του λίπους

Μετά την αναδιαμόρφωση του λίπους, έχει ιδιαίτερη σημασία για τον σοκολατοποιό η διασφάλιση της παρουσίας ικανοποιητικού αριθμού κρυστάλλων του κατάλληλου τύπου (τύπου V) στην σοκολάτα, προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι το προϊόν είναι υψηλής ποιότητας. Με τη χρήση ακτίνων Χ είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η αναλογία όλων

των τύπων κρυστάλλων που υπάρχουν, ωστόσο αυτή η μέθοδος είναι τόσο χρονοβόρα όσο και δαπανηρή. Μια άλλη τεχνική που ονομάζεται θερμιδομετρία διαφορικής σάρωσης (DSC) είναι ικανή να αποδώσει αναλυτικά στοιχεία ως προς τις δομές των κρυστάλλων. Μολονότι η τεχνική αυτή αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για ερευνητικούς σκοπούς, είναι ιδιαίτερα δαπανηρή και σύνθετη για τις ανάγκες ενός απλού ποιοτικού ελέγχου, αφού προϋποθέτει και μια ιδιαίτερως προσεκτική προετοιμασία των δειγμάτων. Μια πιο κοινή μέθοδος προσδιορισμού της σωστής αναδιαμόρφωσης του λίπους στην σοκολάτα αποτελεί η μέτρηση της καμπύλης ψύξης. Το μηχάνημα αυτό (temper meter) παρέχει τις απαραίτητες πληροφορίες οικονομικά και με ευκολία στη χρήση. Λειτουργεί με βάση το γεγονός ότι στη σοκολάτα η λανθάνουσα θερμότητα τήξης είναι αρκετά σημαντική ώστε να γίνεται αντιληπτή η τήξη. Τέλος, πρέπει να σημειωθεί ότι σε περίπτωση που το λίπος της σοκολάτας αναδιαμορφωθεί σε υπερβολικό βαθμό δεν θα λιώνει με ευκολία στο στόμα (Laughter , Brown , & Anantheswaran, 2012).

Προκειμένου να διασφαλιστεί πως η σοκολάτα που έχει υποστεί αναδιαμόρφωση του λίπους θα παραμείνει σταθερή, αυτή θα πρέπει να αποθηκεύεται σε κρύο περιβάλλον, αλλιώς οι κρύσταλλοι που έχουν σχηματιστεί μπορεί να λιώσουν. Αν αυτοί οι κρύσταλλοι λιώσουν και η σοκολάτα επαναψυχθεί, υπάρχει πιθανότητα να σχηματιστούν άλλοι ανεπιθύμητοι κρύσταλλοι που θα μειώσουν την ποιότητά της (Gutiérrez, 2017).

6.4 Μορφοποίηση-Χύτευση

6.4.1 Συμπαγείς πλάκες σοκολάτας

Η χύτευση, είναι ο πιο συνηθισμένος και ευκολότερος τρόπος για την παρασκευή σοκολάτας (βλ. Εικόνα 53). Παραδοσιακά, τα καλούπια κατασκευάζονταν από μέταλλο, αλλά λόγω του υψηλού κόστους, του θορύβου και του βάρους, αντικαταστάθηκαν από ελαφρύτερα, πιο αθόρυβα και φθηνότερα πλαστικά καλούπια ή καλούπια σιλικόνης (βλ. Εικόνες 51 και 52).



Εικόνα 51: Καλούπια σιλικόνης (Πηγή: <https://www.pamono.eu/industrial-art-deco-danish-chocolate-mold-by-galle-jessen-1920s>)

Εικόνα 52: Καλούπια σιλικόνης για σοκολατάκια με γέμιση (Πηγή: <https://www.instructables.com/How-to-Temper-Chocolate-and-Make-Filled-Chocolates/>)

Το τελευταίο είναι σημαντικό, γιατί μια γραμμή χύτευσης μπορεί να διαθέτει έως και 1500 καλούπια, τα οποία πρέπει να απορρίπτονται κάθε φορά που αλλάζει το μέγεθος ή το σχήμα του προϊόντος. Το καλούπι πλαστικού/σιλικόνης είναι επίσης, ιδιαιτέρως εύκαμπτο και μπορεί να λυγίσει για να αφαιρεθεί η σοκολάτα όταν κολλήσει πάνω. Είναι σημαντικό, το άδειο καλούπι να προθερμαίνεται σε θερμοκρασία κοντά σε αυτή της σοκολάτας, που έχει υποστεί αναδιαμόρφωση του λίπους, πριν αρχίσει η διαδικασία χύτευσης για να λιώσουν τυχόν ασταθείς κρύσταλλοι που υπάρχουν. Η προθέρμανση διασφαλίζει επίσης ότι το λίπος δεν θα στερεοποιηθεί κατά λάθος και δεν θα σχηματίσει ανεπιθύμητους κρυστάλλους τύπου IV. Η σοκολάτα πρέπει να κατανεμηθεί ομοιόμορφα στο καλούπι και να αφαιρεθούν αμέσως τυχόν φυσαλίδες. Αυτό επιτυγχάνεται ανακινώντας έντονα στο καλούπι μέχρι να δέσει η σοκολάτα (Gutiérrez, 2017).



Εικόνα 53: Συμπαγείς πλάκες σοκολάτας (Πηγή: <https://depositphotos.com/10195200/stock-photo-chocolate-tablet.html>)

Τόσο για τη χύτευση όσο και για την από-χύτευση χρησιμοποιείται ένα αυτοματοποιημένο σύστημα που ονομάζεται Chocomaster. Το ρευστό μίγμα σοκολάτας μέσω χοάνης εναποτίθεται σε καλούπια των 20, 50 και 100 g, αναλόγως με το επιθυμητό αποτέλεσμα. Σε αυτό το στάδιο είναι απαραίτητο να ληφθούν σοβαρά υπόψη οι ρεολογικές

ιδιότητες του μίγματος για τη δημιουργία προϊόντος ομοιόμορφου μεγέθους και βάρους. Τα καλούπια διαθέτουν ίδια θερμοκρασία με τη ρευστή σοκολάτα και πληρώνονται ανά καθορισμένα χρονικά διαστήματα. Το ιξώδες της σοκολάτας πρέπει να είναι γνωστό αφού οποιαδήποτε αλλαγή στην τιμή του θα οδηγήσει σε υπο- ή υπερπλήρωση του καλουπιού, με δυσάρεστες επιπτώσεις στο μέγεθος και το βάρος του τελικού προϊόντος όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Εάν γίνει εκτεταμένη θέρμανση των καλουπιών και αποκτήσουν πολύ υψηλή θερμοκρασία τότε παρατηρείται αποσάθρωση, η στερεή πια σοκολάτα κολλάει στο καλούπι και δεν μπορεί να αφαιρεθεί, δεν έχει καλή στιλπνότητα και σχηματίζει φλούδες. Σε περίπτωση που τα καλούπια είναι περισσότερο κρύα από όσο χρειάζεται τότε παρατηρείται κακή γυαλάδα, η σοκολάτα κολλάει στο καλούπι και στο τελικό προϊόν υπάρχουν φυσαλίδες που υποβαθμίζουν την οπτική εμφάνιση του. Στο σύστημα περιέχεται επίσης ένας δονητής που ανακινεί τα καλούπια ώστε η υγρή σοκολάτα να κατανεμηθεί ομοιόμορφα (Afoakwa, 2016).

6.4.2 Επικαλύψεις σοκολάτας

Πολλά προϊόντα ζαχαροπλαστικής περιέχουν γεμίσεις που έρχονται σε αντίθεση με τη γεύση και την υφή της σοκολάτας, όπως καραμέλες ή πραλίνες. Άλλα προϊόντα είναι απλά άδεια, δηλαδή τα κελύφη σοκολάτας δεν περιέχουν κάποιο είδος γέμισης.



Εικόνα 54: Χειροκίνητη περιστροφή καλουπιού για στράγγιση περίσσειας σοκολάτας (πηγή: <https://www.cacao-barry.com/en-US/chocolate-recipe/technique/moulding/subjects>)

Αυτά παράγονται, ρίχνοντας ρευστή σοκολάτα σε καλούπια (βλ. Εικόνα 54) και στη συνέχεια περνώντας τα γρήγορα μέσα από σήραγγες ψύξης. Αυτό επιτρέπει στη σοκολάτα που έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια του καλουπιού, να στερεοποιηθεί, αλλά δεν επιτρέπει να αφαιρεθεί αμέσως η υπόλοιπη σοκολάτα όταν είναι ακόμα υγρή. Σε επίπεδο χειροτεχνίας, η περίσσεια σοκολάτας αφαιρείται περιστρέφοντας χειροκίνητα το καλούπι και αφήνοντάς το να στραγγίσει.

Στη συνέχεια, πριν φτάσει το στάδιο της πλήρωσης (αν υπάρχει), πρέπει να κρυώσει η φόρμα και να στηθεί η στρώση σοκολάτας. Ένα από τα πιο σημαντικά στοιχεία που

πρέπει να ελέγχεται κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας, είναι το ιξώδες της σοκολάτας, γιατί εάν είναι πολύ υψηλό είναι δύσκολο να αφαιρεθεί η υγρή σοκολάτα, η οποία θα σχηματίσει ένα παχύ στρώμα (κέλυφος). Σε αντίθετη περίπτωση εάν το ιξώδες είναι πολύ χαμηλό, το στρώμα της σοκολάτας θα είναι πολύ λεπτό. Επιπλέον, ο χρόνος ψύξης πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος ώστε το κέλυφος να στερεοποιηθεί πριν από το επόμενο βήμα. Στην περίπτωση μιας συμπαγούς πλάκας, το καλούπι πρέπει να ανακινείται κατά τη διάρκεια της ψύξης για να εξαλειφθούν τυχόν φυσαλίδες ενώ η συχνότητα ανακίνησης πρέπει να είναι επαρκής για να ληφθεί ένα σταθερό βάρος κελύφους σοκολάτας.

Αφού ξεφορμαριστεί το ψυγμένο κέλυφος σοκολάτας, το καλούπι αναποδογυρίζεται για να ξαναγεμίσει. Σημαντική είναι και η θερμοκρασία πλήρωσης της γέμισης στο καλούπι. Οι κρύες γεμίσεις θα κάνουν τη σοκολάτα να πήξει πιο γρήγορα, ενώ οι πολύ κρύες γεμίσεις θα προκαλέσουν ρωγμές στη σοκολάτα. Αυτό συμβαίνει επειδή ο συντελεστής διαστολής όγκου εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Επιπλέον, μικρές αλλαγές στην περιεκτικότητα σε υγρασία θα επηρεάσουν την ελαστικότητα της σοκολάτας, προκαλώντας διαστολή ή συστολή της.

Από την άλλη, πρέπει να προστίθενται γεμίσεις χωρίς να λιώσει η σοκολάτα. Από αυτή την άποψη, οι γεμίσεις με ζάχαρη και λίπος συνήθως δεν αποτελούν πρόβλημα, αλλά οι γεμίσεις καραμέλας είναι συνήθως δύσκολο να επιτευχθούν επειδή η καραμέλα θα σκληρύνει γρήγορα όταν κρυώσει και πρέπει να προστεθεί όσο είναι ακόμα υγρή (βλ. Εικόνα 55). Αυτό σημαίνει ότι η γέμιση καραμέλας πρέπει να είναι αρκετά ζεστή για να χύνεται εύκολα στη φόρμα, αλλά αρκετά κρύα για να μην λιώσει η σοκολάτα.



Εικόνα 55: Σοκολατάκια γεμιστά με καραμέλα (Πηγή: <https://charlotteslivelykitchen.com/caramel-filled-chocolates/>)

Μετά την προσθήκη της γέμισης, το κέλυφος σφραγίζεται με μια μικρή ποσότητα υγρής ζεστής σοκολάτας και η περίσσεια αφαιρείται με ένα μαχαίρι. Το κέλυφος σοκολάτας προστατεύει τη γέμιση, ωστόσο, η γέμιση δημιουργεί υγρασία, η οποία μειώνει τη διάρκεια ζωής του προϊόντος.

Τα σοκολατάκια που προκύπτουν από χυτευμένη σοκολάτα είναι συνήθως πιο λαμπερά από τη σοκολάτα που παράγεται με τη διαδικασία επικάλυψης. Πολλές γεμίσεις πρέπει να παρασκευαστούν με ζάχαρη (σακχαρόζη και γλυκόζη) και άμυλο, ζελέ ή αραβικό κόμμι με σκοπό την αποτροπή της μετανάστευσης λίπους από το εσωτερικό στο εξωτερικό της σοκολάτας, με αποτέλεσμα την “άνθιση” λίπους.

6.4.3 Επικαλύψεις αποτελούμενες από σοκολάτα και άλλα συστατικά

Σοκολάτα γεμισμένη ή επικαλυμμένη με διαφορετικά συστατικά μπορεί επίσης να παρασκευαστεί σε περιστρεφόμενα δοχεία. Συνήθως, είναι κατασκευασμένα από χαλκό, επειδή με αυτό το μέταλλο είναι δυνατή η ευκολότερη ρύθμιση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα. Σε βιομηχανική κλίμακα, συνήθως χρησιμοποιούνται περιστρεφόμενα τύμπανα. Υπάρχουν δύο είδη επιστρώσεων: μαλακές επιστρώσεις και σκληρές επιστρώσεις. Η μαλακή επίστρωση συνίσταται στην εφαρμογή μιας υγρής επίστρωσης και στη συνέχεια στην ξήρανση με την προσθήκη απορροφητικών στερεών υλικών (συνήθως ζάχαρης). Η σκληρή στρώση αποτελείται από ένα υγρό που περιέχει διαλυμένη ζάχαρη. Προκειμένου να ελαχιστοποιηθεί ο χρόνος που απαιτείται για την αφυδάτωση, η ζάχαρη συμπυκνώνεται σε σημείο που να είναι σχεδόν κορεσμένο διάλυμα. Η ταχύτητα ξήρανσης πρέπει να ελέγχεται για να αποφευχθεί το ράγισμα και η συγκράτηση της υγρασίας, η οποία θα μεταναστεύσει αργά στην επιφάνεια και θα προκαλέσει ελαττώματα. Η ενσωμάτωση έγχρωμων βαφών σε διαλύματα ζάχαρης θα δώσει μια λαμπερή εμφάνιση. Η λεία επιφάνεια επιτυγχάνεται με την εφαρμογή ενός στρώματος κηρού.

6.4.4 Μέθοδοι επικάλυψης με σοκολάτα

Η επικάλυψη μπορεί να γίνει χειροκίνητα ή μηχανικά. Η χειροκίνητη επίστρωση γίνεται συνήθως με εμβάπτιση (βλ. Εικόνα 56) ή με τη βοήθεια σιντριβανιού. Η αυτοματοποιημένη διαδικασία εκτελείται με επικάλυψη με αυτόματο “καταρράκτη” (cascade coating) (βλ. Εικόνα 57) ή σε περιστρεφόμενο τύμπανο (panning coating).

Κατά την επικάλυψη με αυτόματο “καταρράκτη” ολόκληρη η επιφάνεια του γλυκού, συμπεριλαμβανομένης της βάσης και των άκρων, θα καλυφθεί πλήρως και ομοιόμορφα με σοκολάτα. Επομένως, η ταχύτητα του επίχρισης ποικίλλει μεταξύ κάθε βήματος επικαλύψεως.



Εικόνα 56: Δια χειρός επικάλυψη σε σοκολατάκια (Πηγή: <https://www.cacao-barry.com/en-US/chocolate-technique>)
Εικόνα 57: Επικάλυψη χρήσει «καταρράκτη» καταιωνισμού σοκολάτας (Πηγή: <https://in-confectionery.com/new-technology-enhances-chocolate-production/>)

Συνήθως, η σοκολάτα που μένει στο ρολό ξύνεται με μια λεπίδα, στη συνέχεια χύνεται πίσω στο δοχείο, λιώνει εκεί και θερμαίνεται ξανά. Μετά την επικάλυψη, τα σοκολατάκια μετακινούνται στο επόμενο τμήμα του μεταφορικού ιμάντα, όπου μπορεί να διακοσμηθεί η κορυφή του προϊόντος. Για πολλά χρόνια, αυτή η διαδικασία γινόταν με το χέρι με πινέλο, αλλά σήμερα τα προϊόντα συνήθως διακοσμούνται με προγραμματιζόμενες φορητές συσκευές, με αξεσουάρ, όπως ακροφύσια και χτένες, που μπορούν να διακοσμήσουν με διάφορα σχέδια, ακόμα και με διαφορετικά χρώματα. Τέλος, το προϊόν εισέρχεται στο κανάλι ψύξης κατά μήκος μιας άλλης μεταφορικής ταινίας.

Κατά την επικάλυψη σε περιστρεφόμενο τύμπανο η γέμιση, μορφοποιημένη στο τελικό της σχήμα, τοποθετείται στο τύμπανο που περιστρέφεται με ταχύτητα 25 στροφών ανά λεπτό. Εν συνεχεία προστίθεται με απόχυση πάνω στα κομμάτια της γέμισης μικρή ποσότητα διαλύματος προεπίστρωσης, συνήθως υδατοδιαλυτό κόμμι ή διάλυμα αμύλου, ως γλάσο. Η προσθήκη γλάσου μειώνει τον χρόνο επεξεργασίας, επειδή τα προϊόντα σφραγίζονται πλήρως και οι επιφανειακές ανωμαλίες γίνονται λείες, αποτρέποντας τη μετανάστευση λίπους. Στο δεύτερο στάδιο, αποχύνεται σοκολάτα που δεν έχει υποστεί αναδιαμόρφωση λίπους πάνω στα κομμάτια της γέμισης σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 32-35°C έως 90-95°C. Ανάμεσα στη ρίψη κάθε επιπλέον στρώσης επικάλυψης, τα σο-

κολατάκια αφήνονται να ηρεμήσουν για λίγα λεπτά, ενώ εισάγεται κρύος αέρας στο τύμπανο για να κρυώσει ολόκληρο το σύστημα και να στερεοποιηθεί η σοκολάτα. Ο αριθμός των στρώσεων σοκολάτας που θα εφαρμοστούν εξαρτάται από το επιθυμητό αποτέλεσμα, αλλά για να επιτευχθεί ένα καλό βάρος, συνήθως συνιστώνται 2 στρώσεις. Στο τέλος ένα λεπτό στρώμα κακάο ή/και ζάχαρης προστίθεται για διακόσμηση. Στο τέλος αυτού του σταδίου, το προϊόν πρέπει να έχει ομοιόμορφη και λεία εμφάνιση. Στη συνέχεια, αφήνεται να κρυώσει όλη τη νύχτα, ώστε η σοκολάτα να κρυσταλλώσει και να σκληρύνει πριν προστεθεί το τελικό γλάσο. Υπάρχουν δύο λόγοι που λαμβάνει χώρα η διεργασία του γλασαρίσματος κατά την επικάλυψη της σοκολάτας: πρώτον, για να δημιουργηθεί ένα προϊόν, πιο ελκυστικό οπτικά στους καταναλωτές, δεύτερον ώστε να επιτευχθεί μια ανθεκτική επίστρωση και να αποτραπεί το λιώσιμο της σοκολάτας λόγω της επαφής με τα χέρια κατά τη διάρκεια της κατανάλωσης. Το γλασάρισμα γίνεται σε χαμηλή ταχύτητα (18 έως 20 στροφές ανά λεπτό). Μια μικρή ποσότητα παράγοντα γλασαρίσματος, συνήθως ένα προϊόν με βάση το αραβικό κόμμι, προστίθεται στο σύστημα ανάμιξης όπως περιγράφηκε παραπάνω, ενώ το τύμπανο περιστρέφεται και ψύχεται με αέρα. Το σύστημα ανάμιξης συνεχίζει να περιστρέφεται με την ίδια χαμηλή ταχύτητα μέχρι το προϊόν να γίνει λαμπερό και γυαλιστερό (Gutiérrez, 2017). Δεδομένου ότι το γλάσο είναι επίσης εκτεθειμένο στην υγρασία, συνήθως σφραγίζεται με βερνίκι (shellac) προερχόμενο από συγκεκριμένα έντομα που έχουν αναπτυχθεί ειδικά για την παραγωγή του. Η εφαρμογή του βερνικιού πραγματοποιείται με τρόπο πανομοιότυπο με αυτόν του γλάσου, αλλά με τη διαφορά ότι στη συγκεκριμένη περίπτωση δεν εφαρμόζεται ψυχρό ρεύμα αέρα. Αντ' αυτού το σύστημα περιστρέφεται σε χαμηλή ταχύτητα 2-3 λεπτά ώστε να στεγνώσει το βερνίκι. Προσφάτως ανακαλύφθηκε η ικανότητα παραγωγής βρώσιμων μεμβρανών από υδρολυμένο κολλαγόνο / βούτυρο κακάο πλαστικοποιημένα με σακχαρόζη, όπου φάνηκε η δυνατότητα χρήσης αυτών των συστημάτων ως επιστρώσεων για προϊόντα με βάση τη σοκολάτα (Fadini, και συν., 2013).

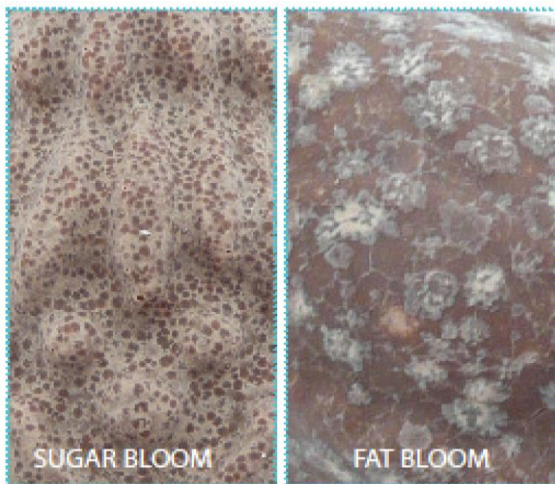
6.5 Στερεοποίηση της σοκολάτας

Έπειτα από την ολοκλήρωση της χύτευσης, η σοκολάτα θα πρέπει να υποβληθεί σε ψύξη ώστε να στερεοποιηθούν τα λίπη που έχουν τηχθεί. Είναι γνωστό πως ένα αντικείμενο μπορεί να χάσει θερμότητα μέσω ακτινοβολίας, αγωγής ή συναγωγής. Παρόλα

αυτά, από την σοκολάτα η θερμότητα χάνεται μόνο με αγωγή ή συναγωγή. Στην περίπτωση της αγωγής, η ενέργεια, υπό τη μορφή της θερμότητας, η οποία βρίσκεται στο σώμα που ψύχεται μεταφέρεται στο υλικό που είναι σε άμεση επαφή με αυτό. Οι σοκολάτες λοιπόν, θα έρθουν σε επαφή είτε με τον ιμάντα μεταφοράς ή με τα καλούπια, που και τα δύο δεν είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να απελευθερώνονται μικρά ποσά θερμότητας, ενώ αν υπήρχε μια ψυχρή επιφάνεια κάτω από τον ιμάντα μεταφοράς θα διευκολυνόταν η κρυστάλλωση του λίπους. Έτσι, τις περισσότερες φορές η ψύξη της σοκολάτας γίνεται με συναγωγή, όπου η σοκολάτα εισάγεται σε μια σήραγγα ψύξης και διοχετεύεται ψυχρός αέρας (βλ. Εικόνα 58).



Εικόνα 58: Σοκολατάκια που εξέρχονται από το τούνελ ψύξης
(Πηγή: <https://www.melbaschocolates.com.au/2019/01/31/the-history-behind-our-cooling-tunnel/cooling-tunnel-v1-high-res/>)



Εικόνα 59 : « Άνθιση» της ζάχαρης (αριστερά) και «άνθιση» του λίπους (δεξιά) (Πηγή: <https://anodsc.coa.com/resource-details/34/Fat-bloom-and-Sugar-Bloom.html>)

Εξίσου σημαντικό με το στάδιο της αναδιαμόρφωσης του λίπους είναι και το στάδιο της ψύξης ή αλλιώς της στερεοποίησης. Αν οι συνθήκες της ψύξης δεν είναι οι κατάλληλες τότε η σοκολάτα που θα παραχθεί θα έχει ελλιπή λάμψη, κολλώδη υφή, μη επαρκή συρρίκνωση και μικρότερη διάρκεια ζωής. Με την επίτευξη χαμηλών θερμοκρασιών, τα λίπη θα στερεοποιηθούν σε έναν μη επιθυμητό τύπο κρυστάλλου, το οποίο μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την άνθιση του λίπους (βλ. Εικόνα 59) αλλά και την ελάττωση του βαθμού

συρρίκνωσης της σοκολάτας, πράγμα που θα δημιουργήσει προβλήματα κατά την απομάκρυνση της σοκολάτας από τα καλούπια. Ακόμα, μπορεί να συμβεί συμπύκνωση του νερού που υπάρχει στον αέρα πάνω σε οποιαδήποτε ψυχρή επιφάνεια, και στη συνέχεια το νερό αυτό να έρθει σε επαφή με τις σοκολάτες, διαλύοντας κάποιο μέρος της περιεχόμενης ζάχαρης. Αυτό το πρόβλημα είναι παρόμοιο με την «άνθιση» του λίπους και ονομάζεται «άνθιση» της ζάχαρης (sugar blooming). Για να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα, συστήνεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος να διατηρείται υψηλότερα από το σημείο που παρατηρείται η συμπύκνωση της υγρασίας (Gutiérrez, 2017).

Για την αποφυγή αυτού του προβλήματος, τα καλούπια με τη ρευστή σοκολάτα διέρχονται μέσω ενός συστήματος ψύξης που αποτελεί μια εγκατάσταση πολλών επιπέδων που τα καλούπια εναποτίθενται και ψύχονται (Afoakwa, 2016). Τα περισσότερα ψυγεία έχουν σχεδιαστεί με τη μορφή μακρών σηράγγων, που φέρουν ανεμιστήρες και ψύκτες και είναι χωρισμένοι σε διαφορετικές θερμοκρασιακές ζώνες. Αρχικά, οι σοκολάτες και ιδιαίτερα τα επικαλυμμένα προϊόντα, εισάγονται σε ήπια ψύξη. Έπειτα, αυτά προωθούνται σε μια πιο ψυχρή ζώνη (γύρω στους 13°C), όπου ένα μεγάλο ποσό της λανθάνουσας θερμότητας απομακρύνεται. Σε αυτή τη ζώνη η θερμοκρασία μπορεί να ελαττωθεί ακόμα περισσότερο, με την προϋπόθεση ότι ο αέρας κινείται γρήγορα ώστε να αποφευχθεί η συμπύκνωση. Εν συνεχεία, οι σοκολάτες διέρχονται μέσα από μια ζώνη που έχει ελαφρώς υψηλότερη θερμοκρασία, πριν περάσουν στον χώρο συσκευασίας. Αυτό συμβαίνει για να εξασφαλιστεί πως η θερμοκρασία στην επιφάνεια των προϊόντων είναι σχεδόν ίδια με αυτή του χώρου συσκευασίας. Έτσι, αποτρέπεται μια νέα συμπύκνωση και κατ' επέκταση μια επακόλουθη αλλοίωση στην σοκολάτα, όπως θα ήταν οι λεκέδες ή η άνθιση της ζάχαρης.

Υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που επηρεάζουν τον χρόνο που απαιτείται για να ψυχθεί ένα προϊόν σοκολάτας όπως: η περιεκτικότητά του σε κρυστάλλους λίπους, ο τύπος και η μάζα των κρυστάλλων, το υλικό κατασκευής του καλουπιού, το μέγεθος και το βάθος του καλουπιού, το σχέδιο του καλουπιού, η ποσότητα σοκολάτας που περιέχει το κάθε καλούπι, το πόσο επίπεδο είναι το καλούπι και πως η σοκολάτα χύνεται μέσα σε αυτό. Παρότι οι παράγοντες που πρέπει να συμπεριληφθούν για τον υπολογισμό του χρόνου ψύξης είναι αρκετοί, τα 10 έως 20 λεπτά θεωρούνται αρκετά ικανοποιητικά ώστε να παραχθεί μια σοκολάτα καλής ποιότητας (Gutiérrez, 2017). Η μέθοδος που αναφέρθηκε

χρησιμοποιείται στην πλειοψηφία των βιομηχανιών παραγωγής σοκολάτας, ενώ σε παραγωγές μικρής κλίμακας η ψύξη επιτυγχάνεται κυρίως με τη χρήση συμβατικών ψυγείων. Έτσι στη συγκεκριμένη περίπτωση τα καλούπια με την περιεχόμενη σοκολάτα ψύχονται στους 7-10°C εντός ψυγείου για χρονικό διάστημα 20 με 30 λεπτών (Afoakwa, 2016).

6.6 Συσκευασία, αποθήκευση και διανομή

Στο συσκευαστήριο, η θερμοκρασία κυμαίνεται πάντα γύρω στους 18 με 20°C, ενώ η σχετική υγρασία πρέπει να είναι χαμηλότερη από 50% προκειμένου να μην συμβεί συμπύκνωση υγρασίας στα τελικά προϊόντα καθώς αυτά εξέρχονται από την σήραγγα ψύξης.

Η συσκευασία των προϊόντων δεν θα πρέπει να γίνεται άμεσα, αφού ένα ποσοστό του βουτύρου κακάο (γύρω στο 25%) το οποίο χρησιμοποιείται στα επιχρίσματα, συνεχίζει να βρίσκεται σε υγρή κατάσταση εφόσον έχει ήδη υποστεί ψύξη. Έτσι λοιπόν, μέχρι να απομακρυνθεί η λανθάνουσα θερμότητα κρυστάλλωσης και το υγρό βούτυρο κακάο να μετατραπεί σε στερεό, η προσωρινή αποθήκευση γίνεται σε έναν περιέκτη σε ψυχρές συνθήκες για χρονικό διάστημα έως 24 ωρών.

Κατά την αποθήκευση, έχει μεγάλη σημασία για την ποιότητα του τελικού προϊόντος να μην συμβαίνουν μεταβολές στην θερμοκρασία, αφού εξαιτίας αυτών υπάρχει μεγάλη πιθανότητα η εμφάνιση της σοκολάτας να γίνει θαμπή και να σχηματιστεί η λεγόμενη «άνθηση» του λίπους. Η σοκολάτα και τα προϊόντα της είναι δυνατόν να καταψυχθούν αφού όμως έχουν ήδη σταθεροποιηθεί για τουλάχιστον 48 ώρες, ούτως ώστε η διάρκεια ζωής τους να αυξηθεί. Όταν τα προϊόντα της σοκολάτας αποψύχονται, θα πρέπει να διατηρούνται προοδευτικά σε υψηλότερες θερμοκρασίες και θα πρέπει να παραμένουν σε κάθε στάδιο θερμοκρασίας προκειμένου να υπάρξει σταθεροποίηση και να αποτραπεί η πιθανότητα συμπύκνωσης. Αυτή η διαδικασία θα πρέπει να ακολουθηθεί μέχρι τα προϊόντα να σταθεροποιηθούν σε θερμοκρασία δωματίου.

Στο στάδιο της διανομής, η μεταφορά των προϊόντων απαιτείται να γίνεται μέσα σε οχήματα τα οποία διαθέτουν σύστημα ψύξης ή/και σύστημα ελεγχόμενης θερμοκρασίας, καθώς η θερμοκρασία μεταφοράς πρέπει να είναι 10 έως 15,6°C προκειμένου να μην αλλοιωθεί η αναδιαμόρφωση του λίπους. Συνήθως, τα προϊόντα αποστέλλονται μέσα σε

οχήματα ψυγεία και η μόνη περίπτωση που δεν συμβαίνει αυτό είναι όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι από μόνη της αρκετά χαμηλή.

7. Μικροβιολογικοί κίνδυνοι στη σοκολάτα

Οι μικροβιολογικοί κίνδυνοι που αντιμετωπίζουν οι παραγωγοί σοκολάτας είναι εξειδικευμένοι για τη συγκεκριμένη βιομηχανία και συνδέονται με τα 3 κύρια χαρακτηριστικά του προϊόντος που είναι:

- χαμηλή τιμή ενεργότητας νερού ($a_w \approx 0,3$),
- $pH \approx 5,5$,
- Υψηλή περιεκτικότητα σε λίπη και σάκχαρα.

Παρόλο που τα παραπάνω χαρακτηριστικά εμποδίζουν την ανάπτυξη νηματοειδών μυκήτων και βακτηρίων, είναι γνωστό πως η βιωσιμότητα των спорίων αλλά και της μούχλας δεν μεταβάλλεται. Οι χαμηλές τιμές ενεργότητας του νερού εξασφαλίζουν την διατηρησιμότητα των προϊόντων σοκολάτας σε θερμοκρασία δωματίου (σε εύκρατα κλίματα) μέχρι 2 χρόνια. Όσον αφορά την σοκολάτα γάλακτος, η λακτόζη και η λεκιθίνη συνήθως είναι υδρόφιλες και έχουν την δυνατότητα να προσροφούν την υγρασία που υπάρχει, εμποδίζοντάς την να διατεθεί για μικροβιακή ανάπτυξη. Ωστόσο, υπάρχουν αρκετοί μικροβιολογικοί κίνδυνοι που αφορούν τη σοκολάτα και τα προϊόντα της, με κάποιους από αυτούς να εγείρουν ιδιαίτερο προβληματισμό. Στην ενότητα αυτή, αναλύονται οι μικροβιολογικοί κίνδυνοι που αφορούν την σοκολάτα ως προϊόν και την παρασκευή αυτής (Gutiérrez, 2017).

7.1 Σημαντικοί μικροοργανισμοί

7.1.1 Παθογόνοι μικροοργανισμοί και ο έλεγχός τους

Σε σύγκριση με άλλα τρόφιμα που παρουσιάζουν ενδογενώς υψηλό ποσοστό κινδύνου να φιλοξενούν βακτήρια του γένους *Salmonella*, το ρίσκο δηλητηρίασης από αυτό το γένος βακτηρίων, μέσω της σοκολάτας, είναι αρκετά χαμηλό. Όμως, η *Salmonella* αποτελεί το μοναδικό παθογόνο για την υγεία του καταναλωτικού κοινού βακτήριο, που μπορεί να βρεθεί στην σοκολάτα και στα γλυκά που παρασκευάζονται από αυτήν και να προκαλέσει τροφικές δηλητηριάσεις σύμφωνα με στοιχεία που αφορούν τα τελευταία 30-35 χρόνια (Bean & Post, 2014). Τα προϊόντα στα οποία οφείλονταν αυτές οι επιδημίες έφεραν βακτηριακό φορτίο που κυμαινόταν από 0,005 έως 23 CFU/g. Τον Νοέμβριο του 2012, η Nestlé USA απέσυρε εθελοντικά ορισμένες ποσότητες από το προϊόν της Nestlé NESQUIK®

(σοκολάτα σε μορφή σκόνης). Τα προϊόντα για τα οποία γίνεται λόγος ήταν 3.9, 6.2 και 11.5 kg σκόνης μέσα σε κονσέρβες. Η Nestlé διευκρίνισε πως η συγκεκριμένη ανάκληση οφειλόταν σε έναν προμηθευτή της την Omya Inc., η οποία τους ανακοίνωσε πως είχαν απομακρύνει αρκετές παρτίδες ανθρακικού ασβεστίου (χρησιμοποιείται ως συστατικό στο NESQUIK®), καθώς υπήρχε πιθανότητα να έχει μολυνθεί από *Salmonella*. Ευτυχώς, δεν υπήρξαν περιστατικά μόλυνσης που θα έθεταν την υγεία των καταναλωτών σε κίνδυνο, εξαιτίας του συγκεκριμένου προϊόντος.

Στην ενότητα που έγινε αναφορά στους μικροοργανισμούς που παίζουν ρόλο στην ζύμωση, δεν αναφέρθηκε η *Salmonella*, αφού είναι ένα βακτήριο που συνήθως δεν βρίσκεται φυσικά στο κακάο, ούτε στις φυτείες. Πιθανότητα, η παρουσία της στο κακάο είναι ανθρώπινης κοπρανώδους προέλευσης και εισέρχεται σε αυτό από τα χέρια των εργατών που χειρίζονται τους καρπούς των κακαόδεντρων ή όταν αυτοί ανακατεύουν τους κόκκους κακάο κατά την ξήρανση. Αν και οι τιμές του pH και της a_w που διαθέτει η σοκολάτα δεν είναι ευνοϊκές για την ανάπτυξη της *Salmonella*, αυτή μπορεί να επιβιώσει ακόμα και σε αυτές τις συνθήκες. Ακόμα, επειδή η πλειοψηφία των σοκολατών έχει υψηλά ποσοστά λίπους (>20%), η ανθεκτικότητά της αυξάνεται.

Από όλα τα στάδια επεξεργασίας που διέρχεται το κακάο, εκείνο που μπορεί να απαλλάξει το κακάο από την παρουσία της *Salmonella* και των υπολοίπων εντεροβακτηρίων, είναι το καβούρδισμα, το οποίο διεξάγεται σε υψηλές θερμοκρασίες (110 έως 140 °C). Κατά συνέπεια, το καβούρδισμα είναι το μοναδικό CCP το οποίο εξασφαλίζει την ολοκληρωτική εξάλειψη της στην παρασκευή της σοκολάτας. Παρόλα αυτά, το καβούρδισμα είναι μια τεχνική που γίνεται παραδοσιακά για να αναπτυχθεί η γεύση της σοκολάτας, για αυτό και η βακτηριοκτόνος δράση του δεν έχει μελετηθεί ενδελεχώς (Gutiérrez, 2017).

Παρά το γεγονός ότι οι παραδοσιακή μέθοδος καβουρδίσματος οδηγεί αποδεδειγμένα σε μικροβιολογικά ασφαλή προϊόντα, η αντιμικροβιακή δράση του καβουρδίσματος συνεχίζει να βελτιστοποιείται. Παράδειγμα αποτελεί ο συνδυασμός του καβουρδίσματος με ατμό, ο οποίος είναι ικανός να απαλλάξει το κακάο από σπορογόνα βακτήρια. Εντούτοις, πρέπει να σημειωθεί πως η *Salmonella* είναι δύσκολο να εξαλειφθεί από τις διαδικασίες που γίνονται στη συνέχεια (Bean & Post, 2014).

Η διεργασία του κονσαρίσματος, διεξάγεται σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται μεταξύ 50 έως 80°C, έτσι ώστε να δοθεί η γνωστή γεύση της σοκολάτας. Μετά το κονσάρισμα, ο πληθυσμός της *Salmonella* ελαττώνεται, ωστόσο τα βακτηριοκτόνα αποτελέσματα του δεν είναι δυνατόν να καταστούν ελεγχόμενα, έτσι λοιπόν το κονσάρισμα δεν θεωρείται CCP.

Η εμφάνιση βλαστικών κυττάρων μικροοργανισμών στην σοκολάτα μπορεί να οφείλεται σε επιμολύνσεις προερχόμενες από εξωγενείς παράγοντες και όχι αποκλειστικά από την πρώτη ύλη, δηλαδή από τα επιπλέον συστατικά που προστίθενται, την ύπαρξη μολυσμένων μηχανημάτων ή τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Απαραίτητοι παράγοντες για την παραγωγή ενός ασφαλούς και καθαρού προϊόντος είναι η συνεργασία με έμπιστους και αξιόλογους προμηθευτές και η εφαρμογή ορθών πρακτικών υγιεινής (GHP), τα οποία θα αποτρέψουν την επιμόλυνση του προϊόντος σε μεταγενέστερα στάδια.

Όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενη ενότητα, η ωχρατοξίνη Α (OTA) δεν αποτελεί σημαντικό κίνδυνο για την σοκολάτα, καθώς αυτή εξαλείφεται μέσω της επεξεργασίας του κακάο, ιδίως στο στάδιο της αποφλοιώσης (Amézqueta, González-Reñas, Murillo, & López de Cerain, 2005). Σχετικά με τις αφλατοξίνες στην σοκολάτα, δεν υπάρχει πλήθος πληροφοριών στην βιβλιογραφία και έτσι, γενικά, η σοκολάτα φαίνεται πως δεν αποτελεί μεγάλη πηγή ωχρατοξίνης Α και αφλατοξίνης για την διατροφή του ανθρώπου. Όμως, επειδή η σοκολάτα και τα προϊόντα με βάση αυτήν καταναλώνονται σε ένα μεγάλο ποσοστό από τα παιδιά, έχει μεγάλη σημασία να παρακολουθείται η συχνότητα που εμφανίζονται αυτές οι τοξίνες στο τελικό προϊόν. Ακόμα, η απουσία μέγιστων επιτρεπόμενων ορίων για τις τοξίνες αυτές, καθιστά μεγάλη ανάγκη τον καθορισμό προτύπων με τα κατάλληλα όρια.

7.1.2 Αλλοιογόνοι μικροοργανισμοί και ο έλεγχός τους

Το γεγονός ότι το κακάο και κατ' επέκταση η σοκολάτα διακρίνονται από υψηλή συγκέντρωση διαλυτών στερεών, έχει σαν αποτέλεσμα τις χαμηλές τιμές a_w . Έτσι, η σοκολάτα θα αλλοιωθεί μόνο αν αυτή απορροφήσει υγρασία που θα προκαλέσει τον πολλαπλασιασμό σε ορισμένες μούχλες όπως τις *Bettsia alvei*, *Neosartorya glabra* και *Chrysosporium xerophilum*. Ωστόσο, κάποια γλυκά που έχουν ως βάση τη σοκολάτα, συγκεκριμένα αυτά που έχουν γέμιση με a_w από 0,7 ως 0,9, είναι ευάλωτα στις αλλοιώσεις

που μπορεί να προκαλέσουν ξηρόφιλοι μύκητες, όπως και κάποιοι ωσμώφιλοι ζυμομύκητες (Thompson, 2009), ιδιαίτερα οι *Eurotium spp.* και *Penicillium spp.*. Βέβαια, στις πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή σοκολάτας (ρευστοποιημένο κακάο ή σκόνη γάλακτος) θα συνεχίσουν να υπάρχουν τα λιπολυτικά ένζυμα από τον *Bacillus spp.* ή από τις μούχλες και μπορεί να επηρεαστούν αρνητικά τα λίπη της σοκολάτας και των παραγώγων αυτής. Δυστυχώς, υπάρχει έλλειψη μέτρων υγιεινής συγκεκριμένα για αυτές τις περιπτώσεις, με τις μόνες εξαιρέσεις την GHP και τον έλεγχο της a_w .

7.2 Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν τη μικροβιολογική ποιότητα της σοκολάτας

7.2.1 Κρίσιμα συστατικά

Εκτός από το βούτυρο κακάο που είναι εγγενές στην επεξεργασία του κακάο, άλλα τρόφιμα μπορούν επίσης να προστεθούν σε προϊόντα με βάση τη σοκολάτα. Αυτό επιτυγχάνεται με ξηρή ανάμειξη σε θερμοκρασία δωματίου. Ωστόσο, οι ξηροί καρποί, όπως τα καρύδια, τα κάσιους, τα καρύδια Βραζιλίας, είναι συνήθως προκαβουρδισμένοι, κάτι που λειτουργεί ως κρίσιμο σημείο ελέγχου (Critical Control Point). Ωστόσο, πρόσθετα όπως ορός γάλακτος σε σκόνη, σκόνη γάλακτος, σκόνη κακάο, καρύδα, αλεύρι, παράγωγα αυγών, ζελατίνη και μπαχαρικά δύνανται να μολυνθούν από *Salmonella* και η έλλειψη επακόλουθης επεξεργασίας αποστείρωσης θα επηρεάσει σημαντικά την ποιότητα του προϊόντος. Αυτό αντικατοπτρίζεται στις προδιαγραφές της αγοράς. Οι προμηθευτές χρειάζεται να διασφαλίζουν τον κατάλληλο έλεγχο (HACCP και GHP) κατά τη διαδικασία παρασκευής των συστατικών τους και να παρακολουθούν τακτικά τις σχετικές παραμέτρους για να διασφαλίζουν τη συμμόρφωση με τα υγειονομικά πρότυπα μέσω συζήτησης και ελέγχου. Εάν αυτό δεν είναι δυνατό, θα πρέπει να εκτελείται δοκιμή για *Salmonella*. Οι δοκιμές για κολλοβακτηρίδια και εντεροβακτήρια, όπως και η μέτρηση των μεσόφιλων αερόβιων μικροοργανισμών μπορούν να παρέχουν πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την υγιεινή των υλικών. Η απόφαση για την διεξαγωγή ή όχι δοκιμών πρέπει να λαμβάνεται κατά περίπτωση, επειδή οι κίνδυνοι θα διαφέρουν ανάλογα με την κατάσταση και τα χαρακτηριστικά των επιμέρους συστατικών. Ο σωστός χειρισμός των πρώτων υλών είναι απαραίτητος για τη δημιουργία ενός συστήματος πρόληψης. Είναι απαραίτητο οι πρώτες ύλες υψηλού κινδύνου να βρίσκονται μακριά απ' αυτές χαμηλού κινδύνου κατά την παραλαβή, το χειρισμό και την αποθήκευση των υλικών για την αποφυγή επιμόλυνσης (Gutiérrez, 2017).

7.2.2 Δειγματοληψία κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας

Η διαδικασία και οι μέθοδοι παραγωγής της σοκολάτας και άλλων γλυκών είναι περίπλοκες και υπάρχουν πολλά στάδια όπως, η άλεση, το κονσάρισμα, η ενδιάμεση αποθήκευση, η αναδιαμόρφωση του λίπους, η χύτευση, η ψύξη, και η στερεοποίηση ή πάγωμα. Στα περισσότερα εξ αυτών των σταδίων γίνεται χρήση μηχανημάτων διπλού τοιχώματος τα οποία περιέχουν νερό και μπορούν για αυτούς τους λόγους να αποτελέσουν πηγή μόλυνσης λόγω μικροδιαρροών. Στην Ιταλία έχει όντως αναγνωριστεί το μολυσμένο νερό ως πιθανή πηγή ρύπανσης σε ξέσπασμα σχετικής επιδημίας. Παρομοίως αναφέρθηκε ξέσπασμα επιδημίας της *Salmonella montevideo* στο Ηνωμένο Βασίλειο το 2006 λόγω διαρροής νερού από σωλήνα (Bean & Post, 2014). Επομένως, η εξασφάλιση της μικροβιολογικής ποιότητας του νερού σε εργοστάσια παραγωγής σοκολάτας είναι υψίστης σημασίας, ενώ ο κακαοπολτός που αποθηκεύεται μεταξύ των ενδιάμεσων σταδίων θα πρέπει πάντα να δειγματίζεται και να ελέγχεται πριν από την περαιτέρω επεξεργασία.

Η ανίχνευση αερόβιων βακτηρίων και εντεροβακτηρίων, καθώς και η άμεση ανίχνευση της *Salmonella*, βοηθά στην εύρεση προβλημάτων όπως η μικροδιαρροή, η είσοδος νερού ή η αναπαραγωγή ορισμένων επιφανειακών βακτηρίων. Τα δεδομένα που συλλέγονται βοηθούν στην αποφυγή μόλυνσης του χρησιμοποιούμενου εξοπλισμού ο οποίος δεν είναι εύκολο να απολυμανθεί, καθώς δεν συνιστάται η απολύμανση του με χρήση νερού. Θα πρέπει να λαμβάνονται τακτικά δείγματα από τις κρίσιμες επιφάνειες επαφής όπου μπορεί να υπάρχουν *Salmonella* ή *Enterobacteriaceae* για να ανιχνεύονται ρύποι που εισέρχονται στο περιβάλλον επεξεργασίας. Επίσης, ο αέρας που διοχετεύεται σε άμεση επαφή με το προϊόν ή στο χώρο που εκτίθεται το προϊόν είναι ζωτικής σημασίας να φιλτράρεται ώστε να διασφαλίζεται η ποιότητα του. Για την παρακολούθηση αυτών των παραμέτρων είναι απαραίτητη τόσο η πραγματοποίηση τακτικών μικροβιολογικών ελέγχων μέσω αναλύσεων των φίλτρων και των βρυσών νερού, όσο και οπτικών ελέγχων ώστε να εξασφαλίζεται ολοκληρωμένα η ακεραιότητα και η λειτουργία τους.

7.2.3 Το περιβάλλον επεξεργασίας

Δεδομένου ότι η μολυσματική δόση της *Salmonella* σε αυτά τα προϊόντα είναι πολύ χαμηλή, τα προληπτικά μέτρα για την πρόληψη της επαναμόλυνσης κατά την επε-

ξεργασία είναι πολύ σημαντικά στη βιομηχανία σοκολάτας. Το περιβάλλον, συμπεριλαμβανομένης της καθαριότητας των χώρων και του εξοπλισμού, καθώς και η υγιεινή των εργαζομένων, παίζουν σημαντικό ρόλο. Ωστόσο, με αυτόν τον τρόπο δεν εξασφαλίζεται η ασφάλεια των προϊόντων. Για αυτό το λόγο, είναι υψίστης σημασίας να εξασφαλιστεί ένα καθαρό και αποστειρωμένο περιβάλλον επεξεργασίας μετά το καβούρδισμα ώστε να αποτραπεί η μόλυνση με *Enterobacteriaceae* και *Salmonella*. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, τα δείγματα θα πρέπει να λαμβάνονται τακτικά για να διασφαλίζεται ότι πληρούν τα πρότυπα καθαριότητας. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο να αφαιρούνται τα απόβλητα που έχουν συγκεντρωθεί κάτω ή πάνω από τα μηχανήματα επεξεργασίας, ειδικά τα απόβλητα κοντά στη σοκολάτα. Σημαντικός δείκτης υγιεινής του περιβάλλοντος εργασίας θα μπορούσε να είναι η παρουσία ή απουσία των *Enterobacteriaceae*. Με αυτόν τον τρόπο επιτρέπεται η έγκαιρη ανίχνευση πιθανών πηγών μόλυνσης, όπως υγρές περιοχές ή ακαθαρσίες που μπορεί να εισέλθουν στην εγκατάσταση από «βρώμικες ζώνες», όπως αποθηκευτικούς χώρους, καθαρούς χώρους ή περιοχές όπου γίνεται επεξεργασία γεωργικών πρώτων υλών.

Η *Salmonella* θα πρέπει επίσης να ελέγχεται ειδικά σε εργοστάσια επεξεργασίας μη καβουρδισμένου κακάο (Gutiérrez, 2017). Επιπλέον χρειάζεται να ληφθούν σοβαρά υπόψη τόσο η διάταξη του εργοστασίου όσο και ο σχεδιασμός των μηχανημάτων. Για παράδειγμα, μηχανήματα επικαλύψεων και αναδιαμόρφωσης του λίπους είναι ιδιαίτερα δύσκολο να καθαριστούν αποτελεσματικά. Έτσι, σε περίπτωση κακού σχεδιασμού του εξοπλισμού, γωνίες και ρωγμές θα αποτρέψουν την είσοδο των απολυμαντικών στο εσωτερικό τους, προστατεύοντας έτσι την ανάπτυξη παθογόνων μικροοργανισμών. Για παράδειγμα, ρωγμές μπορούν να σχηματιστούν σε μεταλλικές επιφάνειες που έχουν συγκολληθεί ατελώς με αποτέλεσμα την συσσώρευση υπολειμμάτων τροφής και νερού και τον πολλαπλασιασμό μεγάλου αριθμού μικροοργανισμών στις περιοχές αυτές. Ο εξοπλισμός που χρειάζεται απλό καθαρισμό με χρήση νερού χρειάζεται αποσυναρμολόγηση για αποτελεσματικότητα του πλυσίματος και σωστή αποστράγγιση πριν επανασυναρμολογηθούν ξανά τα εξαρτήματα (Bean & Post, 2014). Στην περίπτωση τοίχων και ανοιγμάτων που έρχονται σε άμεση επαφή με ακάθαρτες εξωτερικές επιφάνειες πρέπει να πραγματοποιούνται επαρκείς και συνεχείς έλεγχοι, όπως επίσης και σε συστήματα κλιματισμού και μεταφοράς που αποτελούν αρκετά πιθανές πηγές διαρροών. Σε οποιοδήποτε εργοστάσιο σοκολάτας γενικώς, αποτελεί απαράδεκτη συνθήκη η παρουσία *Salmonella*, παρόλα αυτά σε

περιβάλλον που επικρατούν ξηρές συνθήκες είναι αποδεκτές χαμηλές τιμές *Enterobacteriaceae* (κάτω από 10^2 - 10^3 CFU/g). Όπως και να έχει κάθε εργοστάσιο διαμορφώνει τα δικά του πρότυπα με βάση δεδομένα παρελθουσών περιόδων. Είναι σημαντικό να εφαρμόζονται τα GHP (Good Hygienic Practices, Ορθή Υγιεινή Πρακτική) για την εξασφάλιση της άριστης καθαριότητας του προσωπικού, αλλά και να συνοδεύονται από τον αυστηρό έλεγχο των μετακινήσεων. Σε περίπτωση λοιπόν που αυτό κριθεί απαραίτητο, πρέπει να εφαρμόζονται συγκεκριμένοι κανόνες για τον έλεγχο της υγιεινής όπως, η αλλαγή παπουτσιών και ενδυμάτων κατά την μετάβαση του προσωπικού από καθαρές σε μολυσμένες περιοχές και ο καθορισμός συγκεκριμένων χώρων αποθήκευσης οχημάτων, όπως ανυψωτικά οχήματα, καροτσάκια, ηλεκτρικές σκούπες ανάλογα με το αν έρχονται σε επαφή με καθαρές ή βρώμικες επιφάνειες (Gutiérrez, 2017). Όσον αφορά τα βακτήρια και ειδικότερα τη *Salmonella* χρειάζεται να γίνεται συνεχής έλεγχος της υγρασίας και της χρήσης του νερού, αφού τα βακτήρια απαιτούν υψηλές συνθήκες υγρασίας για τον πολλαπλασιασμό τους και συνεπώς αν επιτευχθεί ξηρό περιβάλλον εργοστασίου θα είναι αδύνατο αυτό. Λόγοι ανάπτυξης υγρασίας στο περιβάλλον του εργοστασίου μπορούν να είναι διαρροές σωληνώσεων, γραμμές ατμού, συμπύκνωση, διαρροές της οροφής όπως και λανθασμένες πρακτικές υγρού καθαρισμού, ζητήματα που χρειάζεται να ελέγχονται και να εξαλείφονται (Bean & Post, 2014).

Οι διεργασίες παραγωγής σοκολάτας ανάλογα με το στάδιο που λαμβάνει χώρα και το προϊόν που παράγεται πραγματοποιούνται σε “ξηρές” και “υγρές” ζώνες οι οποίες πρέπει να διαχωρίζονται αυστηρώς. Δηλαδή η σκόνη κακάο που παράγεται σε “ξηρή” ζώνη είναι ανάγκη να μην έχει την παραμικρή αλληλεπίδραση με τις εγκαταστάσεις καθαρισμού στις οποίες υγρά καθαριστικά χρησιμοποιούνται και αυξάνουν την υγρασία του περιβάλλοντος. Σε περίπτωση καθαρισμού των “ξηρών” ζωνών πρέπει να αποφεύγεται ο υγρός καθαρισμός και αν αυτό δεν είναι δυνατό τότε τα λύματα πρέπει να απομακρύνονται ταχέως και ασφαλώς μετά την ολοκλήρωση.

7.2.4 Τελικό προϊόν

Το 1986 το International Commission on Microbiological Specifications for Foods (ICMSF) εισηγήθηκε πολλές προτάσεις που έχουν εφαρμογή ακόμα και σήμερα. Σύμφωνα με αυτές, οι τιμές της *Salmonella* πρέπει να είναι μηδενικές για οποιοδήποτε

προϊόν σοκολάτας και σε οποιοδήποτε σημείο της γραμμής παραγωγής. Αν το συγκεκριμένο πρότυπο τηρείται τότε δεν χρειάζεται να ελεγχθεί η παρουσία άλλων παθογόνων μικροοργανισμών όπως αερόβιων βακτηρίων ή αποικιών κολοβακτηριδίων. Με βάση αυτό το πρότυπο ο ρυθμιστικός οργανισμός Βενεζουέλας δημιούργησε πρωτόκολλο 2 κατηγοριών για τη *Salmonella* και καθόρισε την απουσία της ως υποχρεωτικό παράγοντα, ενώ σύστησε μετρήσεις τιμών μεσόφιλων αερόβιων βακτηρίων, κολοβακτηριοειδών, νηματοειδών μυκήτων και ζυμομυκήτων. Το πρωτόκολλο δειγματοληψίας είναι πια μία τυποποιημένη μέθοδος με την οποία οι μολυσμένες, με αρκετή συγκέντρωση *Salmonella* ώστε να προκληθεί επιδημία, παρτίδες ανιχνεύονται και λαμβάνονται κατευθείαν απαραίτητα μέτρα για την αποκατάσταση των ορθών συνθηκών υγιεινής (Gutiérrez, 2017). Σε περίπτωση που κατά τη διεξαγωγή του προαναφερθέντος ελέγχου δεν βρεθεί παρουσία *Salmonella*, τότε τα παραγόμενα τελικά προϊόντα (σοκολάτες, γλυκά με βάση τη σοκολάτα) δεν υφίστανται περαιτέρω έλεγχο. Παρόλα αυτά αν κατά τα στάδια επεξεργασίας των πρώτων υλών προς τελικό προϊόν ανιχνευθεί παρουσία της σε περιβαλλοντικό δείγμα, τότε ο έλεγχος της παρουσίας και του μεγέθους της μόλυνσης πραγματοποιείται σε δείγματα τελικών προϊόντων. Είναι ιδιαίτερως σημαντική η εξέταση περιβαλλοντικών δειγμάτων, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για την παρουσία εντεροβακτηριοειδών ή κολοβακτηριοειδών καθώς φανερώνει οποιοσδήποτε αδυναμίες των προτύπων υγιεινής που δυνητικά θα οδηγούσαν σε επιδημία λοιμώξεων (Thompson, 2009). Αναλόγως με το στάδιο παραγωγής καθορίζονται τα επίπεδα αερόβιων βακτηρίων και μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από στάδιο σε στάδιο και να αφορούν λεπτομέρειες, όπως την τοποθεσία συλλογής των κόκκων, τη διαδικασία του καβουρδίσματος ή τις προστιθέμενες πρώτες ύλες. Αυτό φαίνεται καθαρά, στην περίπτωση της μαύρης σοκολάτας στην οποία συγκριτικά με τη λευκή σοκολάτα εντοπίζεται μεγαλύτερος αριθμός αερόβιων βακτηρίων. Τέλος, έλεγχος απαιτείται σε γλυκίσματα με βάση τη σοκολάτα και ειδικά σε εκείνα που περιέχουν σιρόπια ή αμυγδαλόπαστα για τον εντοπισμό πιθανής ανάπτυξης οσμόφιλων ζυμομυκήτων και ξερόφιλων νηματοειδών μυκήτων, αφού σε τέτοια συστήματα η ενεργότητα νερού είναι μεγαλύτερη του 0,6 γεγονός που ευνοεί την ανάπτυξη και πολλαπλασιασμό των ανωτέρω μικροοργανισμών (Gutiérrez, 2017).

8. Συμπεράσματα

Η σοκολάτα αποτελούσε πάντα ένα πολύτιμο αγαθό για αρκετούς αρχαίους πολιτισμούς και θεωρούταν ότι διαθέτει ξεχωριστές ιδιότητες και μεγάλη αξία. Με την είσοδο της στην Ευρώπη κατάφερε να τραβήξει την προσοχή όλων των Ευρωπαϊκών λαών αποτελώντας ένα προϊόν πολυτέλειας καθώς ήταν δύσκολη η εισαγωγή της κυρίως από χώρες της Λατινικής Αμερικής όπου ήταν αποικίες Ευρωπαϊκών κρατών. Πλέον, είναι ένα διεθνές αγαθό το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή πολλών διαφορετικών προϊόντων, αφού διαθέτει ξεχωριστή γλυκιά γεύση και γήινα αρώματα ξηρών καρπών. Η παρασκευή της αποτελεί έναν συνδυασμό βιοχημικών, μικροβιολογικών, φυσιολογικών, μηχανικών, τεχνολογικών και άλλων παραγόντων, που καθένας έχει διαφορετική επίδραση και διαμορφώνει το τελικό προϊόν. Η σύσταση της είναι ευκόλως τροποποιήσιμη καθώς διαφοροποιώντας είτε τα γλυκαντικά μέσα, είτε τα λιπαρά γίνεται να παραχθούν νέα εξατομικευμένα προϊόντα ικανά να καλύψουν διατροφικές ανάγκες ιδιαίτερων μερίδων του πληθυσμού, όπως των διαβητικών ατόμων, ειδικά μέσω της συμβολής της stevia που τα τελευταία χρόνια έχει αποκτήσει την εμπιστοσύνη του καταναλωτικού κοινού. Πολύ σημαντικό είναι το παράγωγο της επεξεργασίας, το βούτυρο κακάο, που είναι ένα φυτικό λίπος με μεγάλη θρεπτική αξία και ευρεία εφαρμογή τόσο σε φαρμακευτικά και παρά-φαρμακευτικά προϊόντα, όσο και σε καλλυντικά. Είναι ιδιαίτερα σημαντικό το γεγονός ότι, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή τόσο στη μεταχείριση της πρώτης ύλης όσο και στις συνθήκες υγιεινής και ασφάλειας που ακολουθούνται, αφού αποτελεί ένα ευπαθές προϊόν που χρειάζεται συνεχή προσοχή και άριστες τεχνικές επεξεργασίας ώστε να ληφθεί ένα ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Με βάση τα ευρήματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας φαίνεται ότι η τεχνολογία παραγωγής σοκολάτας θα έχει σημαντική εξέλιξη αφού αρχικά, μέσω της ανάπτυξης της τεχνολογίας θα αυτοματοποιηθούν αρκετά στάδια της παραγωγής, γεγονός που θα διευκολύνει το έργο των παραγωγών σοκολάτας αλλά και θα μειώσει το κόστος παραγωγής. Επιπλέον, δεν έχουν μελετηθεί πλήρως οι δυνατότητες του καβουρδίσματος ως CCP για την αποφυγή ανάπτυξης εντεροβακτηριοειδών στα μετέπειτα στάδια επεξεργασίας και μεταποίησης του κακάο. Για αυτό τον λόγο, η διεξαγωγή τακτικής δειγματοληψίας στο στάδιο του καβουρδίσματος, είναι χρήσιμη προκειμένου να γνωστοποιηθεί πλήρως η αποτελεσματικότητα της βακτη-

ριοκτόνου δράσης του. Ακόμα, συμπεραίνεται πως δεν υπάρχουν μέγιστα επιτρεπτά όρια τιμών για την παρουσία μυκοτοξινών στην σοκολάτα, πράγμα που χρήζει περαιτέρω μελέτης για τον καθορισμό τους. Όσον αφορά τους αλλοιογόνους μικροοργανισμούς, δεν εφαρμόζονται επαρκή μέτρα αντιμετώπισης των δυσμενών επιπτώσεών τους στην σοκολάτα, πέρα από την ελάττωση της α_w και των GHP, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την μελέτη των μικροοργανισμών για την κατανόηση των μηχανισμών τους με σκοπό την διεξαγωγή στοχευμένων ελέγχων.

Ρίχνοντας μια ματιά στο μέλλον, εξαιτίας της ολοένα αναπτυσσόμενης της γενετικής, θα είναι δυνατή η δημιουργία διασταυρούμενων ποικιλιών, με αποτέλεσμα την παραγωγή νέων υβριδικών καλλιεργειών που φέρουν νέες ιδιότητες, γευστικό και αρωματικό προφίλ και πιθανώς τεχνικές επεξεργασίας και μεταποίησης. Τέλος, η διαδικασία της ζύμωσης μπορεί να διαφοροποιηθεί με την χρήση νέων τεχνικών καλλιέργειας (PCR-DGGE) που θα επιτρέπουν τον καλύτερο έλεγχο της ζύμωσης και την διασφάλιση των ποιοτικών συνθηκών.

Βιβλιογραφία

- Svanberg, L., Ahrné, L., Lorén, N., & Windhab, E. (2013). Impact of pre-crystallization process on structure and product properties. *Journal of Food Engineering*, 114(1), σσ. 90-98.
- Afoakwa, E., Paterson, A., Fowler, M., & Vieira, J. (2008). Effects of tempering and fat crystallisation behaviour on microstructure, mechanical properties and appearance in dark chocolate systems. *Journal of Food Engineering*, 89, σσ. 128-136.
- Afoakwa, E. (2016). Industrial chocolate manufacture-processes and factors influencing quality. Στο E. Afoakwa, *Chocolate Science and Technology* (σσ. 130-131).
- Afoakwa, E., Paterson, A., Fowler, M., & Ryan, A. (2008). Flavor formation and character in cocoa and chocolate: a critical review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 48(9), σσ. 840-857.
- Afoakwa, E., Paterson, A., Fowler, M., & Vieira, J. (2009). Fat bloom development and structure-appearance relationships during storage of under-tempered dark chocolate. *Journal of Engineering*, 91(4), σσ. 571-581.
- Afoakwa, E., Paterson, A., Fowler, M., & Vieira, J. (2009). Influence of tempering and fat crystallization behaviours on microstructural and melting properties in dark chocolate systems. *Food Research International*, 42, σσ. 200-209.
- Amézqueta, S., González-Peñas, E., Murillo, M., & López de Cerain, A. (2005). Occurance of ochratoxin A in cocoa beans: effect of shelling. *Food additives and contaminants*, 22(6), σσ. 590-596.
- Aprotosoai, A., Luca, S., & Miron, A. (2016). Flavor Chemistry of Cocoa and Cocoa Products- An Overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15(1), σσ. 73-91.
- Ardhana, M., & Fleet, G. (2003). The microbial ecology of cocoa bean fermentations in Indonesia. *International Journal of Food Microbiology*, 86(1-2), σσ. 87-99.
- Awua, P. (2002). *The success story of cocoa processing and chocolate manufacture in Ghana*. UK.
- Bean, D., & Post, L. (2014). Chocolate and Confectionery. Στο J. Gurtler, M. Doyle, & J. Kornacki, *The microbiological safety of low water activity foods and spices* (σσ. 269-293).
- Beckett, S. (2017). Traditional chocolate making. Στο S. Beckett, *Industrial chocolate manufacture and use* (5 εκδ., σσ. 1-8).
- Beckett, S., Paggios, K., & Roberts, I. (2017). Conching. Στο S. Beckett, *Industrial chocolate manufacture and use* (5 εκδ.). 241-273.
- Belitz, H. D., Grosch, W., & Schieberle, P. (2018). *Χημεία Τροφίμων* (4η εκδ.). (Σ. Ν. Ραφαηλίδης, Επιμ.) ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ.
- Bortolini, C., Patrone, V., Puglisi, E., & Morelli, L. (2016). Detail analyses of the bacterial populations in processed cocoa beans of different geographic origin, subject to varied fermentation conditions. *International Journal of Food Microbiology*, 236, σσ. 98-106.
- Camu, N., De Winter, T., Addo, S. K., Takrama, J. S., Bernaert, H., & De Vuyst, L. (2008, October). Fermentation of cocoa beans: influence of microbial activities and polyphenol concentrations on the flavour of chocolate. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 88(13), σσ. 2288-2297.

- Capuano , E., & Fogliano , V. (2011). Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *LWT- Food Science and Technology*, 44(4), σσ. 793-810.
- Fadini, A., Rocha, F., Alvim, I., Sadahira, M., Queiroz, M., Alves, R., & Silva, L. (2013). Mechanical properties and water vapor permeability of hydrolysed collagen cocoa butter edible films plasticised with sucrose. *Food Hydrocolloids*, 30(2), σσ. 625-631.
- González , C., Acosta , E., Mazo Rivas , J., Alvarez , H., & Muñoz , D. (2022). On-line estimation for predicting the “Conching Degree” (CD) and the viscosity of chocolate. *Jurnal of Food Engineering*, 316.
- Greweling, P., & Fink, B. (2013). *Chocolates and Confections: Formula, Theory, and Technique for the Artisan Confectioner* (2 εκδ.). The Culinary Institute of America (CIA).
- Guinard , J., & Mazzucchelli, R. (1999). Effects of sugar and fat on the sensory properties of milk chocolate: descriptive analysis and instrumental measurements. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, σσ. 1331-1339.
- Gutiérrez, T. (2017). State-of-the-Art Chocolate Manufacture: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16.
- Interest, C. (2014, April 19). *Compound Interest*. Ανάκτηση από www.compoundchem.com: <https://www.compoundchem.com/2014/04/19/the-polymorphs-of-chocolate/>
- Jinap , S., Thien, J., & Yap, T. (1994). Effect of drying on acidity and volatile fatty acids content of cocoa beans. *Journal of the science of food and agriculture*, 65(1), σσ. 67-75.
- Kamphuis, H. (2017). Production of cocoa mass, cocoa butter and cocoa powder. Στο S. Beckett, *Industrial chocolate manufacture and use* (5 εκδ., Τόμ. 3, σσ. 62-68).
- Kostinek, M., Ban-Koffi , L., Ottah-Atikpo, M., Teniola , D., Schillinger, U., Holzapfel, W., & Franz, C. (2008). Diversity of predominant lactic acid bacteria associated with cocoa fermentation in Nigeria. *Current microbiology*, 56(4), σσ. 306-314.
- Lapčíková, B., Lapčík, L., Salek, R., Valenta, T., Lorencová, E., & Vašina, M. (2022). Physical characterization of the milk chocolate using whey powder. *LWT Food Science and Technology*, 154, σσ. 1-9.
- Laughter , J., Brown , D., & Anantheswaran, R. (2012). Manufacturing Chocolate for Entrepreneurial Endeavors. Στο *Specialty Foods: Processing Technology, Quality, and Safety* (1 εκδ., σσ. 157-198). Yanyun Zhao.
- Leal, G., Gomes, L., Efraim, P., Figueira, A., & De Almeida Tavares , F. (2008). Fermentation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) seeds with a hybrid *Kluyveromyces marxianus* strain improved product quality attributes. *FEMS yeast research*, 8(5), σσ. 788-798.
- Legarreta, X., Smith, B., Fryer, P., Ingram, A., & Bakalis, S. (χ.χ.). Optimisation of chocolate refining.
- Li, Y., Zhu, S., Feng, Y., Xu, F., Ma, J., & Zhong, F. (2014). Influence of Alkalization Treatment on The Color Quality and the Total Phenolic and Anthocyanin Contents in Cocoa Powder. *Food Science and Biotechnology*, 23(1), σσ. 59-63.
- Liang , B., & Hartel, R. (2004). Effects of Milk Powders in Milk Chocolate. *Journal of Dairy Science*, 87(1), σσ. 20-31.

- Marangoni, A. G. (2002). Special issue of FRI—Crystallization, structure and functionality of fats. *Food Research International*, 35(10), σσ. 907-908.
- Morales, F. (2008). Thermal Treatment: Hydroxymethylfurfural (HMF) and Related Compounds. Στο F. Morales, *Process-Induced Food Toxicants: Occurrence, Formation, Mitigation, and Health Risks* (σσ. 135-174). Richard H. Stadler, David R. Lineback.
- Moser, A. (2015). Alkalizig Cocoa and Chocolate. *The Manufacturing Confectioner*, σσ. 31-38.
- Namiki, M., & Hayashi, T. (2002). Development of novel free radicals during the amino-carbonyl reaction of sugars with amino acids. *Journal of agricultural and food chemistry*, 23(3), σσ. 487-491.
- Nielsen, D., Crafac, M., Jespersen, L., & Jakobsen, M. (2013). The microbiology of cocoa fermentation. Στο *Chocolate in health and nutrition* (σσ. 39-60).
- Nielsen, D., Teniola, O., Ban-Koffi, L., Owusw, M., Andersson, T., & Holzapfel, W. (2007). The microbiology of Ghanaian cocoa fermentations analysed using culture-dependent and culture-independent methods. *International Journal of food microbiology*, 114(2), σσ. 168-186.
- Ostovar, K., & Keeney, P. (1973). Isolation and characterization of microorganisms involved in the fermentation of Trinidad's cocoa beans. *Journal of food science*, 38(4), σσ. 611-617.
- Ozturk, G., & Young, G. (2017). Food evolution: the impact of society and science on the fermentation of cocoa beans. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 16(3), σσ. 431-455.
- Ramli, N., Hassan, O., Said, M., Samsudin, W., & Idris, N. (2006). Influence of roasting conditions on volatile flavor of roasted Malaysian cocoa beans. *Journal of food processing and preservation*, 30(3), σσ. 280-298.
- Schwan, R., Rose, A., & Board, R. (1995). Microbial fermentation of cocoa beans with emphasis on enzymatic degradation of the pulp. *Symposium Series- Society for Applied Bacteriology (United Kingdom)*(24), σσ. 96-107.
- Selvasekaran, P., & Chidambaram, R. (2021, July). Advances in formulation for the production of low-fat, fat-free, low-sugar and sugar-free chocolate: An overview of the past decade. *Trends in Food Science & Technology*, 113, σσ. 315-334.
- Stark, T., Bareuther, S., & Hofmann, T. (2005). Sensory-guided decomposition of roasted cocoa nibs (*Theobroma cacao*) and structure determination of taste-active polyphenols. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(13), σσ. 5407-5418.
- Stuart, D. (2017). Chocolate compounds and coating. Στο S. Beckett, *Industrial Chocolate Manufacture and Use* (5 εκδ., σσ. 479-491).
- Thompson, S. (2009). Microbiological spoilage of high-sugar products. Στο S. Thompson, *Compendium of the microbiological spoilage of foods and beverages* (1 εκδ., σσ. 301-324).
- Thompson, S., Miller, K., Lopez, A., & Camu, N. (2014). Cocoa and Coffee. Στο M. Doyle, & R. Buchanan, *Food Microbiology: fundamentals and frontiers* (4 εκδ., σσ. 881-899).
- Turcotte, A., Scott, P., & Tague, B. (2013). Analysis of cocoa products for ochratoxin A and aflatoxins. *Mycotoxin research*, 20(3), σ. 193.

- Verna , R. (2013). The history and science of chocolate. *The Malaysian Journal of Pathology*, 35(2), σσ. 111-121.
- Voigt, J., Biehl, B., Heinrichs, H., Kamaruddin, S., Marsoner, G., & Hugi, A. (1994). In-vitro formation of cocoa-specific aroma precursors: aroma-relates peptides generates from cocoa-seed protein by cooperation of an aspartic endoprotease and a carboxypeptidase. *Food chemistry*, 49(2), σσ. 173-180.
- Windhab, E. (2017). Tempering. Στο S. Beckett, *Industrial chocolate manufacture and use* (5 εκδ., σσ. 314-355).
- Wood , G., & Lass, R. (1985). Στο *Cocoa* (4 εκδ., σσ. 620-632).
- Ziegler , G. R., & Hogg , R. (2017). Particle size reduction. Στο S. T. Beckett, *Beckett's Industrial Chocolate Manufacture and Use* (Fifth edition εκδ., σσ. 226-230).
- Κυριαζής, Α. (2016). *Ανάλυση και μελέτη εκτίμησης επαγγελματικού κινδύνου σε βιομηχανία σοκολατοειδών προϊόντων*. Πειραιάς.
- Κωνσταντάτου, Τ., & Καστρινός, Θ. (2008). *Το βιβλίο των Ελληνικών ρεκόρ*. Διόπτρα.
- Μπουκίδης, Β. (2021, Μάρτιος 3). ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΚΑΟ ΚΑΙ ΣΟΚΟΛΑΤΑΣ: ΟΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ. Π.Σ.Χ.Β.Ε. Ανάκτηση από https://psxbe.gr/wp-content/uploads/%CE%A0%CE%91%CE%A1%CE%9F%CE%A5%CE%A3%CE%99%CE%91%CE%A3%CE%97_%CE%99%CE%9F%CE%9D_%CE%A0%CE%A3%CE%A7%CE%92%CE%95-2021_03_13_%CE%A3%CE%9F%CE%9A%CE%9F%CE%9B%CE%91%CE%A4%CE%91.pdf