

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geografie
Studijní obor: Fyzická geografie a geoinformatika



Bc. Jan Svoboda

Rozloha a charakteristika vysokohorských mokřadů v pramenné oblasti Amazonky
Extent and characteristics of alpine wetlands in the Amazon River headstream area

Bakalářská práce

Vedoucí práce: RNDr. Tomáš Chuman, Ph.D.

Praha, 2018

Zadání bakalářské práce

Název práce

Rozloha a charakteristika vysokohorských mokřadů v pramenné oblasti Amazonky

Cíle práce

Tématem práce je vyhodnocení rozlohy vysokohorských mokřadů v pramenné oblasti Amazonky s využitím distančních dat.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Zájmové území je vymezeno jako povodí dvou toků Apachety a Carhuasanty po jejich soutok v peruánském pohoří Cordillera Chila. K detekci mokřadů byly použité vegetační spektrální indexy NDMI, NDVI a ruční vektorizace. Použitý snímek byl pořízen 5. Dubna 2017 družicí Sentinel-2.

Datum zadání: 28.11.2014

Podpis studenta

Podpis vedoucího práce

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval sám z uvedené literatury a na základě konzultací se svým školitelem.

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 12. 5. 2018

Bc. Jan Svoboda

Abstrakt

Pramenná oblast Amazonky byla vymezena na základě výsledků z expedice Hatun Mayu 2000 jako povodí vodních toků Apacheta a Carhuasanta po jejich soutok v řeku Lloquetu, ležící v pohoří Cordillera Chila. Charakteristickou vlastností těchto toků a jejich přítoků je to, že v jejich okolí vznikají mokřady s dominancí rostliny *Distichia Muscoides*. Tato rostlina zde, ale i jinde ve vysokohorských Andských mokřadech, vytváří až několikametrové nánosy rašeliny. Tyto nánosy zpomalují a přehrazují vodní toky, čímž zapříčiňují rozrůstání mokřadů do velkých šířek. Tento specifický vysokohorský habitat, zvaný bofedales, je klíčový pro přežití řady živočišných i rostlinných druhů, stejně jako i lidí, žijících v těchto nehostinných oblastech. Vymezení těchto mokřadů je jedním z důležitých kroků k pochopení role, kterou v přírodě tyto mokřady mají, a k jejich ochraně, protože se ukazuje, že jsou velmi citlivé na změny v životním prostředí. Vzhledem k izolovanosti pramenné oblasti Amazonky se jako ideální pro vymezení mokřadů zdají být metody dálkového průzkumu Země.

Klíčová slova: Pramenná oblast Amazonky, bofedales, mokřady, DPZ, NDVI, NDMI

Abstract

The Amazon River headstream was defined on the basis of the Hatun Mayu 2000 expedition results. It is the water catchment area of Apacheta and Carhuasanta streams down to their confluence in the Lloqueta River in the Cordillera Chila. The characteristic feature of these streams and their tributaries is the presence of the wetlands dominated by *Distichia Muscoides*. This plant here and elsewhere in the High Andean wetlands creates up to several meters of peat deposits. These deposits slow down and block waterways, causing wide wetland spreading. This specific alpine habitat, called bofedales, is crucial for the survival of a number of animal and plant species as well as for people living in these inhospitable areas. Defining these wetlands is one of the important steps to understanding what role these wetlands have in nature, as well as protecting them, as they appear to be very sensitive to environmental changes. Due to the isolation of the Amazon headstream the Remote Sensing Methods seem to be ideal for defining them.

Keywords: Amazon River headstream area, bofedales, wetlands, remote sensing, NDVI, NDMI

Obsah

1 Úvod	5
2 Zájmová oblast a její stručná fyzickogeografická charakteristika.....	7
2.1 Cordillera Chila	8
2.1.1 Geologická charakteristika zájmového území.....	8
2.1.2 Geomorfologická charakteristika zájmového území.....	8
2.1.3 Zalednění zájmového území.....	9
2.1.4 Hydrologické vymezení.....	9
2.2 Ekoregiony a biogeografická charakteristika zájmového území.....	10
2.2.1 Klimatická charakteristika puny.....	12
2.2.2 Rozdělení puny	14
2.3 Ekonomické využití	17
3 Vysokohorské mokřady.....	18
3.1 Polštářovitá vegetace sítinovitých.....	18
3.2 20	
3.3 Rostlinné druhy vysokohorských mokřadů And	20
3.4 Rozšíření.....	22
3.5 Přírodní podmínky	22
3.6 Morfologické rozdělení mokřadů	23
3.6.1 Prameništní mokřady	23
3.6.2 Pánevní mokřady	23
3.6.3 Mokřady andských plošin	24
3.7 Paleogeografie.....	24
3.7.1 Stáří mokřadů	25
3.8 Význam vysokohorských mokřadů And	26
3.9 Ohrožení mokřadů	27
3.9.1 Vliv pastvy na mokřady.....	28
3.9.2 Ohrožení mokřadů plynoucí z budování infrastruktury a hornické činnosti....	29
3.9.3 Neantropogenní disturbance	29
3.9.4 Ochrana mokřadů.....	29
3.10 Mokřady v pramenné oblasti Amazonky	30
4 Data a metody	31
4.1 Klasifikace mokřadů v zájmové oblasti na základě multispektrálních dat	31
4.1.1 Ruční vektorizace.....	32
4.1.2 Vegetační index NDVI	32
4.1.3 Vegetační index NDMI	33
4.2 Průměrné roční srážky z meteorologických stanic poblíž zájmové oblasti.....	34

5	Výsledky.....	35
5.1	Ruční vektorizace mokřadů Amazonky	35
5.2	Vymezení mokřadů pomocí spektrálního indexu NDVI	36
5.3	Vymezení mokřadů pomocí indexu NDMI	38
5.4	Příspěvek k poznání srážkových poměrů a zařazení puny zájmového území	41
6	Diskuze.....	44
7	Závěr	50
8	Bibliografie	51

1 Úvod

Mokřady představují důležité biotopy v krajině. Jedná se o místa se stálou prezencí povrchové vody nebo alespoň velmi vysoké hladiny podzemní vody. Mokřad tedy představuje přechod mezi suchozemským a vodním biotopem. Jedná se o místa vysoké biodiverzity. Řada organismů dokáže žít pouze zde a z hlediska biologické produktivity, patří tyto biotopy k těm nejproduktivnějším, se kterými se člověk může setkat. Svůj význam mají i z hlediska hydrologické bilance, protože představují zásobu vody pro období sucha.

Na rozdíl od orné půdy, nebo lesa přinášely mokřady pro lidi jen minimální ekonomický význam. Z tohoto důvodu se člověk pokoušel dříve rozlohu mokřadů nejrůznějšími způsoby redukovat a na jejich místě provozovat zemědělství. Podle některých odhadů se původní zastoupení mokřadů vinou člověka v průběhu historie zmenšilo zhruba na polovinu a podle OECD v roce 1996 tvořily mokřady přibližně 6 % souše (ACREMAN et al., 2007). V posledních desetiletích se objevila řada národních i nadnárodních iniciativ, které si daly za cíl mokřady chránit kvůli jejich významu pro hydrologickou bilanci a biodiverzitu. Nejvýznamnější takovou iniciativou byla tzv. Ramsarská úmluva, kterou podepsalo 160 států. Tyto státy se zavázaly chránit ty mokřady, které jsou rozeznány jako mezinárodně významné pro ochranu ptactva. Každý rok přibývají mezi ramsarské mokřady nové lokality.

Specifickým typem mokřadů jsou rašeliniště. Jedná se o ekosystémy se značnou produkcí živé hmoty, která se postupně ukládá a vytváří tak vrstvy odumřelé rostlinné biomasy mocné i několik metrů. Rašeliniště ležící na severní polokouli se dodnes těšily mnohem vyššímu zájmu botaniků a paleoekologů. Kromě zájmu botaniků se na jejich zmapování podílela také těžba rašeliny. Rozsáhlé mokřady nalezneme ale i na jižní polokouli například ve vysokých nadmořských výškách ve vysokohorském ekoregionu centrálních And, zvaném puna. Tyto mokřady se obvykle nazývají *bofedales*. Jsou významné zejména z hospodářského hlediska, jako důležité pastviny s vysokým obsahem bílkovin pro stáda hospodářských zvířat místních obyvatel, díky vyšší produkci biomasy, než jakou poskytují okolní ekosystémy. MOREAU et al. (2003) uvádí, že průměrně na jeden metr čtvereční vysokohorského mokřadu centrálních And v pásmu puny, tzv. *bofedales*, připadá 450 g suché biomasy. To je mnohem větší množství, než produkuje

okolní puna, ve které dosahuje roční čistá primární produkce jen 1,7 g suché biomasy na jeden čtvereční metr. SQUEO, et al. (2016) zabývající se mokřady v sušších oblastech severního Chile, uvádí roční čistou primární produkci 1000 g/m². Jeden hektar mokřadu uživí v zimě tři dospělé sudokopytníky. Jedná se především o ovce (*Ovis aries*) a velbloudovité - alpaky (*Vicugna pacos*) a lamy (*Lama glama*) (ŠEFRNA, 2004).

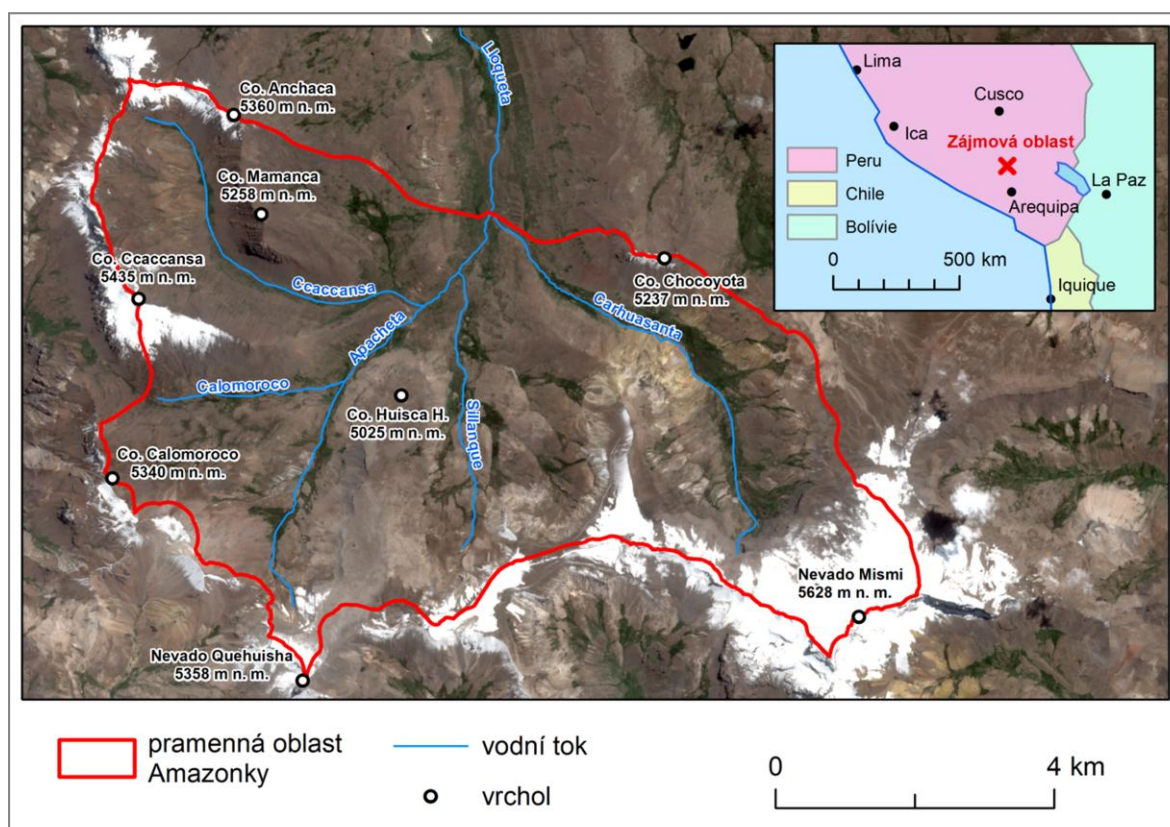
Mokřady jižní polokoule jsou však nadále velmi málo prozkoumané. Netuší se například, jakou mají rozlohu a hydrologickou bilanci. Zároveň jsou tyto mokřady velmi ohrožené činností člověka. Právě proto je cílem této bakalářské práce s pomocí dálkového průzkumu Země a využitím různých klasifikačních metod a používaných indexů zmapovat rozlohu mokřadů v modelovém území. Za modelové území byla zvolena pramenná oblast Amazonky. Z metod bude navržena ta, která by byla pro zmapování mokřadů i v jiných oblastech And nejvhodnější.

2 Zájmová oblast a její stručná fyzickogeografická charakteristika

Pramenná oblast Amazonky je vymezená povodími Apachety a Carhuasanty v pohoří Cordilera Chila po jejich soutok v řeku Lloquetu (z hlediska zeměpisných souřadnic dosahuje oblast hodnot $15^{\circ}26'44''$ - $15^{\circ}31'38''$ j. z. š. a $71^{\circ}40'35''$ - $72^{\circ}47'38''$ z. z. d.

Za pramennou oblast Amazonky byla tato povodí určena po vyhodnocení výsledků expedice Hatun Mayu 2000 týmem profesora Bohumíra Jánského. Kritéria pro určení pramene Amazonky nemluvily pro žádný z toků v pramenné oblasti jednoznačně, a proto není žádný z místních toků považovaný za jediný pramen Amazonky, ale je jím celá oblast.

Rozloha je přibližně $57,15 \text{ km}^2$. Jedná se o okolí hory Nevado Mismi. Severním směrem od pohoří leží Cayllomská pánev, která je součástí plošiny Altiplano, v přibližné nadmořské výšce 4250 m n. m. Podle Dávila (1988) by se mohlo jednat o kalderu. Na jih od hřebene, kterým vede rozvodnice, leží kaňon řeky Colca. Oblast je, jak se dá vyčíst



Obr. 1 Říční síť a nejvýznamnější vrcholy zájmové oblasti na podkladu vytvořeném ze snímku pořízeného družicí Sentinel-2

z Obr. 1, vzdálená přibližně 100 km od města Arequipa a nejbližší hornické město Caylloma je vzdáleno přibližně 50 km.

2.1 Cordillera Chila

Jak bylo uvedeno výše, zájmová oblast se nachází v pohoří Cordillera Chila. Jedná se o pohoří, které je součástí Centrálních And a nachází se přibližně 250 km od jezera Titicaca. Leží na území dvou peruánských provincií Castilla a Caylloma v peruánském regionu Arequipa. V rámci členění peruánských And leží toto pohoří v Jižních Andách. C. Chila je součástí Západní Kordilléry (Cordillera Occidental), která je jedním ze tří rovnoběžných hřbetů tvořících Andy. Mezi jednotlivými hřbety jsou rozsáhlé náhorní plošiny, které jsou souhrnně nazývány Altiplano. Tyto plošiny tvoří většinu povrchu Centrálních And. Plošina přilehlá k pohoří na jihovýchodě se jmenuje Cayllomská podle největšího města zde ležícího.

2.1.1 Geologická charakteristika zájmového území

Pohoří bylo do současného tvaru formováno převážně v období pozdních třetihor (miocénu) až do pleistocénu, kdy zde kulminovala vulkanická aktivita (ENGEL, 2001). Proto jsou zde převážně horniny vulkanického původu. Většinu skalního podloží zde tvoří miocénní ryolitové lávy (formace Ichocollo skupiny Tacaza). Ty jsou často překryty pliocénním pyroklastickým materiálem (formace Seneca). V nejvyšších částech pohoří se nachází andezitové plio-pleistocénní andezitové lávy skupiny Barroso, zastoupené především tufy (JANSKÝ et al., 2004).

2.1.2 Geomorfologická charakteristika zájmového území

Pohoří se vyznačuje velmi členitým reliéfem se strmými svahy, což je typickým znakem mladých orogenických jednotek. V Cordillera Chila řada vrcholů překonává výšku 5000 m n. m. Nejvyšším vrcholem je vyhaslá sopka Nevado Mismi s 5628 m n. m. (ENGEL, 2001). Dnes zde již neprobíhá intenzivní vulkanická činnost. Její pozůstatky se projevují doprovodnými jevy v údolí Colca, jako jsou gejzíry a teplé prameny. Ty bývají místními využívány k lázeňství.

V zájmové oblasti jsou typické ledovcové tvary jako například kary a trogy, které vznikly činností ledovců. Ty v období pleistocénu pokrývaly celou oblast. (ENGEL, 2001). Místní údolí mají vysokou relativní výškovou členitost do 500 m na 1 km. Nadmořská výška stoupá od 4712 m n. m. na soutoku Carhuasanty a Apachety po 5628 m n. m. na vrcholu Nevado Mismi (ENGEL, 2001; JANSKÝ et al., 2004)

Pramennou oblast Amazonky rozděluje ve dvě na takřka symetrické poloviny protáhlý hřbet Huisca Huisca. „Polovina“ na západ od hřbetu je povodím Apachety. Ta je tvořena třemi údolími, která byla značně ovlivněna glaciálními pochody (Engel, 2001). Hlavní je údolí Apachety, do kterého zleva ze zbylých dvou údolí přitékají přítoky Apachety: Calomoroca a Ccaccansa. Východní část je odvodňována tokem Carhuasanta, kromě malé části odvodňované tokem Sillanque, který je pravostranným přítokem Apachety.

2.1.3 Zalednění zájmového území

Tvar reliéfu zde ovlivnily především glaciálně erozní pochody. Rozloha zbytku horských ledovců v Cordillera Chila se k roku 1999 na základě snímků z družic Landsat odhaduje na 52 km² (WILLIAMS, 1999). ENGEL (2001) uvádí, že v roce 1999 horské ledovce v pramenné oblasti měly rozlohu přibližně 1,54 km². Jedná se o ledovce na vrcholech nevado Mismi (0,45 km²), Quehuisha (0,2 km²), Cututi (0,38 km²) a poslední, největší ledovec leží na Ccaccanse (0,51 km²). Při srovnání leteckých snímků je zde znatelný úbytek ledovců ve 20. století, neboť na snímcích z roku 1955 byla jejich rozloha odhadnuta na 3,84 km². To činí pokles přibližně o 60 % rozlohy zalednění (ENGEL, 2001). Takhle velkému odlednění napomohla i orientace velké části ledovců k slunečním paprskům. Úbytek pokračoval a dnes se zde již pravděpodobně žádné horské ledovce nenachází. Sněžná čára leží ve výšce 5300 m n. m. (ENGEL, 2001).

2.1.4 Hydrologické vymezení

Po hřebeni C. Chila vede rozvodnice dvou oceánů. Do Tichého oceánu odvádí vodu z tohoto pohoří na jih řeka Río Colca, která zde vytváří druhý největší kaňon na světě. Na severu, v oblasti, kterou se tato práce zabývá, leží povodí a pramenná oblast nejdelší řeky světa Amazonky, která z pohoří odtéká pod názvem Apurimac a hlavní zdrojnicí je tok Lloqueta (ENGEL, 2001; JANSKÝ et al., 2004).

2.2 Ekoregiony a biogeografická charakteristika zájmového území

C. Chila leží severněji než obratník Kozoroaha v tropickém pásu. Nicméně ochlazování díky výškovému gradientu a vliv Humboldtova proudu stojí za vznikem azonálních ekosystémů v oblasti. Podle nadmořské výšky, teploty a srážek je Peru rozděleno do osmi přírodních stupňů. Zde jsou uvedeny nejdůležitější stupně pro tuto práci podle JANSKÝ et al. (2004), které je možno najít v C. Chila:

Quechua (mírný stupeň) zasahuje do rozmezí nadmořských výšek mezi 2300-3500 m n. m. Průměrná roční teplota je zde mezi 10,5-18 °C. Pěstují se zde plodiny jako kukuřice, zelenina, luštěniny i ovoce.

Mezi mírným a chladným stupněm je stupeň přechodný, zvaný **suní** nebo **jalca**. Jeho výškové rozpětí je do 4000 m n. m. Roční teplota zde klesá na 8 °C. Nejdeštivějším obdobím zde je jaro. Tímto stupněm prochází i hranice lesa a to nadmořskou výškou kolem 3900 metrů. Vysokohorské mokřady rostoucí od 3500 m n. m. začínají růst právě v tomto stupni (Skrzypek et al., 2011).

Puna je chladným stupněm a zasahuje ve zdejších zeměpisných šířkách až do 4800 m n. m. Průměrná roční teplota zde klesá až k 3 °C. Puna se rozprostírá po náhorních plošinách, zatímco předchozí stupně jsou především na svazích hor a v údolích. Dají se zde ještě omezeně pěstovat plodiny, ale především se zde chovají ovce, lamy a alpaky. Pěstují se zde brambory, z nichž se vyrábí tzv. *chuño* a to v nízké puně do 4200 metrů (*puna baja*). Ve vysoké puně (*puna alta*) už se většinou provozuje jen pastevectví.

Nejvyšším horám náleží stupeň **riti** (též **janca**). Průměrná roční teplota zde klesá pod 3 °C. Bývá zde věčný sníh a ledovce, velmi omezeně, ale přece. Vysokohorské mokřady se objevují přesto i v nejnižších partiích tohoto ekoregionu a to zde umožňuje v malé míře pastevectví velbloudovitých (JANSKÝ et al., 2004).

Pramenná oblast Amazonky spadá do pásem *puna* a *riti*. Mokřady, kterými se tato práce zabývá, leží především v přírodním stupni chladné horské stepi s názvem puna. Jedná se o hlavní ekoregion náhorních plošin centrálních And jak je vidět na obr. 4. V létě jižní polokoule zde nastává období dešťů (prosinec-březen), v zimě naopak nastává na osm měsíců období sucha. Velká část tohoto území je bezodtoká a z toho plyne i vyšší zasolení místních vod (MOLINA, LITTLE, 1981; SALVADOR et al., 2014).

Puna se rozprostírá jižně od 7-8° j. z. š. mezi Západní a Východní Kordillerou a po náhorních plošinách Centrálních And až po severní Chile a severozápadní Argentinu po 27°j. z. š. Velkou část tohoto území zaujímá (po Tibetské náhorní plošině) druhá největší horská plošina na světě Altiplano. V rámci Východní Kordilléry, se puna rozprostírá na západních svazích. Na východních svazích se jedná o oblast zvanou *jalca* (SIMPSON, 1983).

V pásmu puny dominují trsy tvrdých trav *Festuca sp.* (tzv. *ichu*), které je možné vidět na Obr. 2 (JANSKÝ et al., 2004). Mezi další hlavní rostlinné rody patří *Azorella*, *Baccharis*, *Gentiana*, *Geranium*, *Lupinus*, *Notoriche*, *Valeriana* a *Wernaria* (SALVADOR et

al., 2014). Směrem na západ přes Altiplano kromě srážek klesá i podíl neotropických druhů a naopak přibývá druhů kosmopolitních. To také usnadňuje rozdělení konkrétního území do typu *puny* (SIMPSON, 1983). Na obr. 3 je vidět *Azorella yarita*. Ta tvoří charakteristické kompaktní zelené polštáře velké až 4 metry.

V oblastech na sever od Centrálních And se nad hranicí lesa namísto *puny* nachází vegetační formace zvaná *páramo*. Reliéf oblastí s *páramem* nemá na rozdíl od *puny* plošinný charakter a není zde žádné vyloženě suché období. *Páramo* je někdy definováno jako oblast, kde roste *Espelatia* (klejovka). Na jihu z této oblasti, bývá vyčleňována *jalca*, která je podobná *puně* s větším příjmem srážek.

Jižně od Altiplana přechází postupně *puna* do vysoko-andské vegetace (z angličtiny *high Andean vegetation*), která pokračuje až k Ohňové zemi a Patagonii. Tato vegetační formace se v Patagonii svou vegetací podobá více pouštní *puně*, než oblastem vlhké *puny* (SIMPSON, 1983).

2.2.1 Klimatická charakteristika *puny*

Klima *puny* je především dáno tropickou a subtropickou polohou Centrálních And. Vzduchové hmoty proudí především z Amazonie, kde se v létě tvoří Bolivijská tlaková výše, jejíž vzduchové hmoty míří na plošiny Altiplana (SQUEO et al., 2006).

Klima se v *puně* vyznačuje nízkým tlakem, minimální vzdušnou vlhkostí a řídkým vzduchem, který může u obyvatel z nížin vyvolávat horskou nemoc. Jedná se o podmínky typické pro vysoko položené oblasti. Vysoké ohřívání povrchu sluncem může vyvolat v průběhu pozdního odpoledne silné bouře. Evapotranspirace činí kolem 1000 mm v průběhu roku (MOLINA, LITTLE, 1981).

Vysoké vrcholy a plošiny And velmi zásadně ovlivňují klima celého kontinentu. V první řadě tvoří hřbety And účinnou bariéru pro míchání vzduchových hmot z Amazonie a vzduchových hmot západního pobřeží Jižní Ameriky, které velmi ochlazuje studený Humboldtův proud. Kvůli severozápadně-jihovýchodnímu směru Centrálních And ubývají srážky v severovýchodně-jihozápadním směru směrem od Amazonské nížiny přes vrcholy And až po pobřeží Peru (JANSKÝ et al., 2004). Posunutí intertropické zóny konvergence (ITCZ) z Amazonie v průběhu letních měsíců jižní polokoule přináší do And a plošin

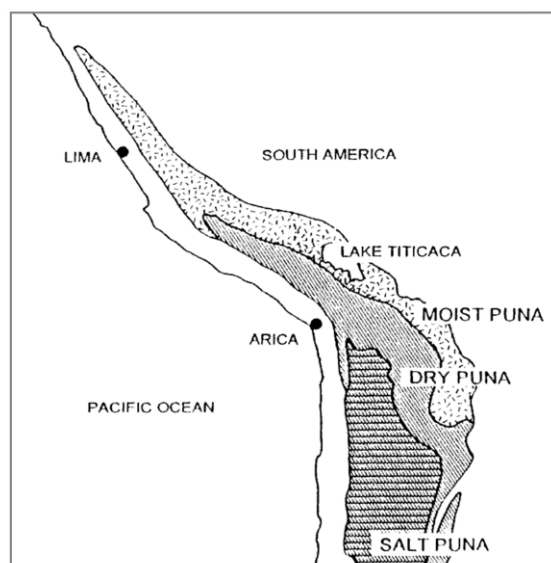
Altiplana většinu ročního srážkového úhrnu. V průběhu prosince až dubna spadne 60 % veškerých srážek (MOLINA, LITTLE, 1981). Engel (2001) uvádí, že rozmezí ročního úhrnu srážek v C. Chila je od 800 mm do 500 mm/rok. Tomu odpovídají i průměry stanic, které byly v rámci této práce vypočítány. Stanice poblíž vrcholu Qullqiri měla průměrný roční úhrn srážek 755,3 mm. Druhá stanice nedaleko hory Ch'uwaña zaznamenala úhrn 864 mm a stanice v Cayllomě měly v průměru úhrn 741,27 mm.

Dalším faktorem, který velmi zásadně ovlivňuje srážky, je jev zvaný El Niño. Ten nastává, když studený Humboldtův proud zeslábně a vody v pobřežních oblastech pacifického pobřeží Jižní Ameriky se oteplí. To způsobí změnu proudění vzduchových hmot nad celým kontinentem, což vyvolá srážky v pobřežních oblastech a sucho v oblastech andských plošin Altiplana (MOLINA, LITTLE, 1981). El Niño má negativní dopad na hospodářství a to jak v rybářství, kdy se v moři vinou menšího obsahu živin vyskytuje méně ryb, tak i v jiných odvětvích, protože může vyvolat například rozsáhlé záplavy (University of Illinois, 2010).

Rozdíl v radiaci v průběhu roku není příliš výrazný a tak amplituda denního chodu teplot je vyšší, než amplituda průměrných teplot v průběhu roku. Například v Parinacotě (18° j. z. š., 4400 m n. m.) amplituda denních teplot sahá až k 30 °C, v extrémních případech může sahat až k 50 °C. O amplitudách denních teplot, překračujících 30 °C během letních měsíců jižní polokoule, se zmiňuje i ENGEL et al. (2014). Engel (2014) zároveň uvádí průměrnou roční teplotu v pramenné oblasti Amazonky kolem 0 °C. Teploty



Obr. 4 Puna v rámci Jižní Ameriky
BAIED, WHEELER (1993)



Obr. 5 – Rozdělení typů puny
SIMPSON (1983)

pod bodem mrazu jsou zde zaznamenány celoročně zejména v nočních hodinách. Se snižující se vlhkostí vzduchu také klesá teplota, která je tak pro západní svahy And o 4 °C nižší, než pro východní (ARROYO, CAVIERS, 2013; JANSKÝ et al., 2004). V oblastech severní Chile koncem listopadu, kdy průměrná měsíční teplota stoupne nad -5 °C, začíná hlavní vegetační sezóna (SQUEO et al. 2006).

2.2.2 Rozdělení puny

Obvykle se rozlišuje puna na vlhkou, suchou a pouštní, jedno takové rozdělení je vidět na obr. 5. Rozdíly způsobuje především dotace srážek a převládající vegetace. Srážky ubývají ze severu na jih a z východu na západ centrálních And.

Zatímco se jednotliví autoři většinou shodují ve vymezení puny do tří různých oblastí, liší se hlavně v uváděných rozmezích ročních úhrnů srážek, jak je vidět v tabulce č. 1. To může být způsobené tím, že se puna vyskytuje na rozsáhlém území čtyř států - Argentiny, Chile, Peru a Bolívie. Autoři potom rozdělují punu podle kritérií, které se v oblasti jejich zájmu obvykle používají (Tab. 1).

TROLL (1968) in BAIED, WHEELER (1993) roční úhrn srážek (mm):	Moist puna 500 – 1000	Dry puna 300 – 500	Salt puna < 300
MOLINA, LITTLE (1981) roční úhrn srážek (mm):	Humid puna 800 – 1200	Dry puna Neuvedeno	Desert puna Neuvedeno
ARROYO, CAVIERS (2013) roční úhrn srážek (mm):	Humid puna 400 – 1500	Dry puna 100 – 400	Desert puna < 100
SQUEO et al (2006) roční úhrn srážek (mm):	Wet puna 500 – 700	Moist puna 250 – 500	Dry puna < 250

Tab. 1 Rozdělení typů puny podle jednotlivých autorů

Vlhká puna, v anglickém jazyce se pro tento typ puny používají výrazy wet, humid a moist. Jednotliví autoři uvádějí následující dotace srážek ARROYO, CAVIERS (2013): 400-1500 mm, BAIED, WHEELER (1993): 500-1000 mm, MOLINA, LITTLE (1981): 800-1200 mm a SQUEO et al. (2006), který bádá především v Chile: 500-700 mm. Průměrné roční teploty sahají od 3-8°C. Absolutní minima sahají k -10°C (MOLINA, LITTLE, 1981).

Je typická tím, že zde traviny tvoří husté koberce. Jedná se především o rody *Calamagrostis*, *Festuca* a *Stipa*. Občas se zde vyskytují trpasličí lesy, které jsou tvořeny zejména rodem *Polylepis* (ARROYO, CAVIERS, 2013). Hranici mezi vlhkou a suchou punou

tvorí přechod od travin ke křovinám (SIMPSON, 1983). Leží severněji než ostatní typy puny v Peru a Bolívii, což jí zaručuje dostatečný přísun srážek v období dešťů z Amazonie a se zvětšující se vzdáleností od Amazonské pánve směrem na jih a západ průměrných srážek ubývá. Je zde možné zemědělství a to obzvláště v oblasti kolem jezera Titicaca. Jedná se zejména o pěstování brambor (BAIED, WHEELER 1993).

Suchá puna, v anglicky psané literatuře se pro tuto punu používají tyto termíny: dry, thorn, nebo španělský výraz: *puna seca*. Leží především na jih a západ od vlhké puny, ve větší vzdálenosti od Amazonské pánve. Rozmezí srážek jsou udávána následovně ARROYO, CAVIERS (2013): 100-400 mm, BAIED, WHEELER (1993): 300-500 mm.

V suché puně jsou opět dominantní traviny, ale mají menší rostlinný pokryv na úkor křovisek. Půda zde má obvykle rostlinný pokryv menší jak 50 %, což je dáno kratším obdobím dešťů a celkově nižším úhrnem srážek oproti oblastem ležícím více na sever a na západ. Tvrdé trávy zde tvoří velké trsy nazývané *ichu* (jedná se nejčastěji o rody *Festuca* a *Stipa* atd.). Krajině často dominují keříky toly (*Parastrephia lepidophylla*, synonymum *Lepidophyllum quadrangulare*, čeleď *Asteraceae*). Velmi výrazný zástupce flory je polštářová vegetace rostliny *Azorella yarita*, vysoká až jeden metr s rozlohou až 3 m² (Obr. 3). Dají se zde nalézt i nižší stromy z rodu *Polylepis* (JANSKÝ, et al., 2004).

Chlad a sucho zabraňují tvorbě dobře vyvinutých půd. Není zde možné pěstovat plodiny, ale místní lidé chovají rozsáhlá stáda dobytka (BAIED, WHEELER, 1993).

Na rozdíl od ostatních autorů, SQUEO et al. (2006), který se zabývá vysokohorskými oblastmi Chile, označuje oblasti, které dosahují srážek 250-500 mm jako vlhkou punu (moist puna). Toto rozmezí srážek odpovídá spíše suché puně ostatních autorů. Může to být způsobeno tím, že se zabývá mokřady, které se vyskytují o dost jižněji. Dostává se jim tedy méně srážek, než oblastem na severu, ale stále oproti vyložené pouštním podmínkám jsou dobře zásobené vodou.

Pouštní puna, z anglického desert puna. Nachází se především na jihu centrálních And, kam již v období dešťů dorazí jen minimum srážek z Amazonie. Zároveň je také chladnější než vlhká, nebo suchá puna.

Rozmezí srážek uvádí autoři následovně ARROYO, CAVIERS (2013): < 100 mm. SQUEO et al. (2016) mluví o oblastech s podobnou dotací srážek (< 250 mm) jako o suché puně (dry puna). BAIED, WHEELER (1993) mluví o slané puně jako o puně, kde je roční

úhrn srážek menší jak 300 mm, takže jeho užití slané puny je zaměnitelné s pouštní punou.

Oproti předcházejícím typům puny se zde nachází mnohem menší množství rostlinných druhů, kterých se zvyšující se ariditou ubývá. Rostlinný pokryv je obvykle menší jak 15 %. Zejména se zde mohou nacházet traviny (druh *Festuca orthophylla* a rod *Stipa*), kaktusy, trnité keře (ARROYO, CAVIERS, 2013, SIMPSON, 1983).

CABRERA (1968) v SIMPSON (1983) odděluje slanou punu (salt puna) od pouštní puny. Nevymezuje ji totiž podle klimatu, ale podle zasolení půd. Zasahuje především do pouštní puny, kde je řada bezodtokých oblastí, ale může se vyskytovat i v suché puně. Jsou zde rozsáhlá území pokrytá slanou krustou, nazývaná *salares*.

Rozdělení puny podle nadmořské výšky uvádí CABRERA (1968) v MOLINA, LITTLE (1981), tentokrát se puna rozděluje na dva výškové pásy: *punanena* a *altoandina*. *Punanena* se nachází mezi 3700-4400 m n. m. a odpovídá v podstatě nízké puně (*puna baja*) z JANSKÝ et al. (2004). Zahrnuje především plošiny Altiplana a jiné oblasti s menším sklonem povrchu. Dále se rozlišuje podle dotace srážek na vlhkou, suchou a pouštní podle kritérií uvedených výše. *Altoandina* (dle JANSKÝ et al., 2004 *puna alta*) naopak zahrnuje vyšší nadmořské výšky a průměrná denní teplota zde sahá k 0°C. Tento výškový pás je floristicky příbuznější s páramem a Patagonií než se zbytkem puny a právě zde se nejčastěji objevují mokřady s porosty *Oxychloe*, *Patosia* a *Distichia* (MOLINA, LITTLE, 1981).

Puna v pramenné oblasti Amazonky spadá do pásma *altoandina*. Díky dominantním porostům toly (*Lepidophyllum quadrangulare*), které jsou dominantní do výšky 4300 m n.m., byla puna v pramenné oblasti Amazonky klasifikována Šefrnou (2004) jako suchá puna. Vegetační období zde trvá přibližně 75 dní (Skrzypek et al., 2011). Vzhledem ale k výši srážek udávaných Engelem (2001) by puna v pramenné oblasti Amazonky spadala do vlhké puny. Kvůli nejednoznačnosti zařazení puny byla část bakalářské práce věnována i vyhodnocení průměrných srážek v modelovém území viz kapitola 5.4.

2.3 Ekonomické využití

Kvůli málo vyvinutým půdám se v puně pěstují kulturní rostliny (oproti severněji položeným vysokohorským oblastem And) jen zanedbatelně a to obzvláště v oblastech kolem jezera Titicaca. Pěstovány jsou především brambory odolné nízkým teplotám, ze kterých střídavým vystavováním mrazu a slunci po několik dní vzniká tradiční *chuño* (mražené brambory) (ŠEFRNA, 2004).

Puna a zejména vlhká puna je staré civilizační centrum. Nejvýznamnější státní útvar, který zde vznikl před příchodem Španělů, byla Incká říše. Zároveň právě zde probíhala domestikace velbloudovitých (*Camelidae*). Právě možnost pastevectví na horských plošinách stojí za tím, že se jedná v rámci And o oblast s největší hustotou osídlení a dodnes představuje pastevectví hlavní obživu místních obyvatel. Domestikace velbloudovitých začala přibližně před 6000 lety. Nevhodný management, který zde zavedli Španělé poté, co ovládli tyto oblasti, zapříčinil velký úbytek stád lam a alpак (BAIED, WHEELER, 1993). Na druhou stranu sem evropští dobyvatelé dovezli nová hospodářská zvířata, jako jsou ovce, kozy, dobytek a prasata. Tyto změny vedly k úbytku obyvatelstva. Dnes se zde chovají především ovce a zástupci velbloudovitých. Lamy a alpaky mají oproti ovčím menší negativní dopad na životní prostředí, protože jejich kopyta tolik nenarušují půdu jako kopyta ovcí (BAIED, WHEELER, 1993). Velbloudovití nejsou přežvýkavci, přesto jsou schopni lépe zpracovávat nízko-proteinovou stravu díky delší době, kterou jim potrava zůstane v žaludku.

Kromě rozsáhlých pastvin, je dalším významným zdrojem obživy místních obyvatel nerostné bohatství. Hornická činnost, často prováděná zastaralými metodami, nešetrnými k životnímu prostředí, vede ke kontaminaci životního prostředí a někdy i likvidaci citlivých společenstev (MOLINA, LITTLE, 1981).

3 Vysokohorské mokřady

SALVADOR et al. (2014) tvrdí, že v rámci Jižní Ameriky se najde největší rozmanitost vodních prostředí právě ve vysokohorských oblastech *párama* a *puny*. Vysokohorské mokřady leží v nadmořských výškách přibližně od 3000 do 5000 m n. m. ŠEFRNA, (2004) píše, že se vyskytují již od 2800 m n. m.

SQUEO et al. (2006) uvádí tyto tři typy mokřadů v puně: polštářovitá vegetace tvořená převážně čeledí sítinovitých, případně jitrocelovitými; otevřená jezírka často zarůstající rdestem, a poslední, spíše mimo punu se vyskytující (převážně v jižní Andské stepi) mokřady, kde jsou dominantními společenstva lipnicovitých. Všechna tyto tři společenstva mohou přecházet z jednoho do druhého. CLEEF et al. (1993) mluví v Andách i o rašeliništích, která jsou tvořena společenstvy rodu rašeliník (*Sphagnum*), takže se v zásadě neliší od rašelinišť severní polokoule.

V bezodtokých oblastech vznikají slaná jezera a mokřady, které jsou někdy označovány jako *salares*. Izolované vlhké oblasti, kde se může tvořit rašelino tvorný horizont, jsou nazývány *vegas* (MOLINA, LITTLE, 1981; SQUEO et al., 2006).

MOREAU (2002,2003) mluví o dvou typech zdejších mokřadů, konkrétně *bofedales* a *titora*. *Bofedales* popisuje jako husté, zelené, krátké trávníky. *Titora* jsou podle něj mokřady tvořené především *Cyperaceae* (šáchorovitými) v blízkosti jezera Titicaca.

3.1 Polštářovitá vegetace sítinovitých

Nikde jinde na světě vyjma tropických pohoří Jižní Ameriky nejsou známy mokřady, kde hlavními rašelino tvornými druhy jsou chamaefyty. Vrstva rašeliny může být podle FONKÉN (2014) i více jak 7 metrů hluboká. ENGEL et al. (2014) provedl vrt v rašelině, jehož hloubka byla dokonce 10 metrů. Jedná se především o zástupce z čeledi *Juncaceae* (sítinovité), které vytváří rozsáhlou polštářovou vegetaci (cushion plants) (BOSMAN et al., 1993).

Podle KOLÁŘ (2011), je polštář charakteristická růstová forma, která představuje extrémně redukovaný keříček s větvemi, zakončenými drobnými listovými růžicemi naskládanými tak, že vytváří souvislý tuhý povrch, po kterém se dá v některých případech i chodit. To tuto rostlinou formu ochraňuje před suchem i hladovými zvířaty. Zároveň

pomáhá rostlinám regulovat teplotu. Tato forma je typická pro řadu různých rostlinných mokřadních i nemokřadních druhů, vyskytujících se ve vysokohorských oblastech And.

Podobně jako v rašeliništích severní polokoule, probíhá zde ulmifikace hlavně ve zbytcích rostlin rodu *Sphagnum* (rašeliník), probíhá ulmifikace rostlinných zbytků čeledi *Juncaceae*. Rašeliniště tvoří zatopené prohlubně (šlenky) a kopečky s rostlinným pokryvem (bulty). Vysokohorský andský mokřad je, za předpokladu na živiny bohatého podloží, tvořen mnohem vyšším podílem organických látek, než je tomu u rašelinišť severní polokoule. Od těch se liší i o dost rychlejší akumulací ulmifikované hmoty (SALVADOR, et al., 2014). ENGEL et al (2014) ve svém výzkumu zjistil, že rychlost přirůstání rašeliny v pramenné oblasti Amazonky se v historii pohybovala od 0,7 do 8,1 mm za rok, především v závislosti na klimatu.

Stejně jako v rašeliništích i zde vznikají dvě vrstvy. Ta svrchní je bohatá na kyslík a rostou zde rostliny, zatímco spodní vrstva je bez kyslíku a ukládají se zde rostlinné zbytky. Vytváření humolitových nánosů může mít za následek větší meandrování toků a postupný zánik jezer díky zazemňování (ŠEFRNA, 2004). V některých případech mohou být i vodní toky překryty několikametrovými nánosy rašeliny a mohou tak vznikat podpovrchové úseky toku. Někdy nastává autoregulační proces, kdy množství rašeliny přehradí určitou část mokřadů a část mokřadů, odříznutá od zdroje vláhy, zaniká.

Popisovaný typ vysokohorských mokřadů se sítinovitými rostlinami je zobrazen na Obr. 6. Nemá ustálený název v české, ani v anglicky nebo španělsky psané literatuře. Mezi nejpoužívanější označení patří *bofedales*. Další používané názvy (ne vždy užívané jen pro mokřady tvořené sítinovitými) z anglické vědecké terminologie jsou *vegas*, *cushion bogs*,



Obr. 6 Mokřady v puně (SKRZYPEK et al., 2011)



Obr. 7 Lama v mokřadu (SALVADOR et al., 2014)

wet grasslands, highland bogs (SQUEO et al., 2006). WEBERBAUER (1911), který se jako jeden z prvních začal zajímat o vysokohorskou floru Jižní Ameriky, používá výraz *champa*. FONKÉN (2014) se ve svém článku zmiňuje o *champě* pouze jako o rašelině, jinak využívá pro mokřady se sítinovitými výraz *bofedales*. MORLON (1996) uvádí, že kečuánský výraz *champa* nemá svůj ekvivalent ve španělštině (tedy ani v ostatních indoevropských jazycích) a překládá ho do španělštiny jako *alfombra vegetal*, tedy rostlinný koberec. Zároveň autor nezmiňuje žádné druhy rostlin, které by tyto koberce měly tvořit, a v celé své práci se ani jedinkrát nezmiňuje o hlavních rašelinotvorných druzích jako jsou *Distichia muscoides*, *Oxychloe andina* a *Patosia clandestina*. Není tedy jasné, co má přesně pod tímto pojmem na mysli. Zároveň používá pojem *bofedales*, kterým označuje jak přirozené, tak lidmi uměle vytvořené mokřady. Tím se liší od ŠEFRNY (2004), který rozlišuje přírodní mokřady jako *champu* od lidmi vytvořených mokřadů, které označuje *bofedales*. Většina autorů, jako například MORLON (1996), nebo SQUEO et al. (2006) od sebe nerozlišuje přirozené a umělé mokřady s *Distichia muscoides*, *Oxychloe andina* a *Patosia clandestina* a používají shodně výraz *bofedales*.

3.2

3.3 Rostlinné druhy vysokohorských mokřadů And

Vysokohorské mokřady And jsou tvořeny zejména polštářovou vegetací sítinovitých (*Juncaceae*), případně jitrocelovitých (*Plantaginaceae*). V menší míře jsou tvořeny rostlinami s listovou růžicí, kombinací obou předchozích typů, případně kombinací rostlin s listovou růžicí a trsnatých travin. Druhové složení závisí na pH a salinitě.

Čeleď *Juncaceae* (sítinovité) jsou celosvětově rozšířené jednoděložné rostliny, podobné travinám. V Evropě mírného pásu jsou zastoupeny například rody *Juncus* (sítina) a *Luzula* (bika). V Jižní Americe je dominantním druhem vysokohorských mokřadů s kyselým pH v rozmezí 5,1-6,3 *Distichia muscoides* (SQUEO et al., 2006). Vyskytuje se spolu s jinými rostlinami i v kyselejších podmínkách (pH 4,5) a konduktivitě v rozmezí od 19 do 713 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (SALVADOR et al., 2014). Stonky jsou hustě pokryty listy dlouhými 3-7 mm. SALVADOR et al. (2014) uvádí, že v jím zkoumaných mokřadech s dominancí *Distichia muscoides* byl podíl organické hmoty v rašelině $69 \pm 14 \%$.

Druhý nejrozšířenější rašelinotvorný druh z čeledi sítinovitých je v Andách *Oxychloe andina*. Ta dokáže prosperovat (na rozdíl od *D. muscoides*) v mírně zasolené vodě s vyšším pH a vyšší konduktivitou 2620-3176 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (SALVADOR et al., 2014). Vzorky z rašelinišť, které provedl SALVADOR et al. (2014), obsahovaly 78 % organické hmoty. Díky schopnosti snést zasolenou vodu se *O. andina* vyskytuje v sušších oblastech než *D. muscoides* a to od jižních oblastí Peru až po argentinské provincie Ka Ríoa a San Juan (RUTHSATZ, 2012).

Další druhy sítinovitých, které nalezneme v mokřadech, již nejsou tak široce rozšířené. V Bolívii a v severní Chile se vyskytuje *Distichia filamentosa*, z Ekvádoru je popisována *D. aculis*, (Skrzypek et al, 2011) a ze severního Peru *D. acicularis* (FONKÉN, 2014). Dalším rašelinotvorným druhem s výrazně menším zastoupením je *Patosia clandestina* (SKRZYPEK et Al., 2011, SQUEO et al., 2006).

V peruánské puně byly v mokřadech zaznamenány kromě zástupců sítinovitých ještě dva druhy z čeledi jitrocelovitých tvořící rašelinový horizont – polštářovitý jitrocel tuhý (*Plantago rigida*) a druh s listovou růžicí *Plantago tubulosa* (SALVADOR et al., 2014).

Dalšími druhy, které již netvoří hlavní biomasu mokřadů, jsou například z čeledi šáchorovitých (*Cyperaceae*) druh *Oreobulus cleefi* a z čeledi šídlatkovitých (*Isoetaceae*) rod šídlatka (*Isoetes*). Tyto taxony jsou ale někdy přehlíženy, neboť se často neúmyslně zamění za *D. muscoides* (SALVADOR et al., 2014).

Dále je v celých Andách významný kosmopolitní rod rašeliník (*Sphagnum*), který vytváří rašelinu v horských oblastech po celém světě. V Andách dominuje především v oblastech nevhodných pro výše popsané druhy, jako jsou oblasti s nižší nadmořskou výškou, nebo jižnější oblasti Jižních And.

V kolumbijské části And s přibývajícím nadmořskou výškou se mění druhové složení rašelinišť. Rašeliniště s rodem *Sphagnum* postupně nahrazují mokřady s druhem *Plantago rigida*. Ty jsou ve vyšších nadmořských výškách nahrazeny druhy z čeledi *Juncaceae*.

Zdá se, že dominance *Oreobulus cleefi* je spojena s některými sukcesními stadii mokřadů, proto se vyskytují na stejných místech jako rod *Plantago*, nebo druh *Distichia muscoides* (BOSMAN et al., 1993). Stává se tak zejména tehdy, pokud tyto mokřady podléhají úpadku. Totéž podle SALVADOR et al. (2014) by mohlo platit pro *Plantago rigida*.

Mezi další rody, vyskytující se ve vysokohorských mokřadech And, patří *Gentiana*, *Hypsela*, *Lilaeopsis*, *Ourisia*, *Phylloscirpus*, *Carex* a některé druhy trsnatých trav jako jsou *Deschampsia caespitosa*, *Aciachne pulvinata*, *Calamagrostis rigescens*.

V případě, že hráz z rašeliny vytvoří rozsáhlejší vodní plochu, obsazují nově vzniklé tůně a jezera například i taxony *Potamogeton strictus*, *Myriophyllum quitame*, *Carex sp.*, *Ranunculus sp.* či kosmopolitní vodní rdestovitá rostlina šejdračka bahenní (*Zannichellia palustris*), která má velký význam pro výživu pasoucích se alpak (MORLON, 1996). Jedná se většinou o tmavé vody, bohaté na rozpuštěný organický uhlík (SQUEO et al., 2006).

3.4 Rozšíření

Vysokohorské mokřady, kde tvoří rašelinu sítinovité, se vyskytují od Kolumbie až po 31° j. š. v (v severním Chile a Argentině). Vznikají hlavně v alpinském vegetačním pásmu And. SQUEO et al. (2006) je konkrétněji zařazuje od subalpinského pásu (sub-alpine belt) až po nízký alpinský pás (low Alpine belt) centrálních And. V Peru se začínají objevovat již od 3500 m n. m. a pokračují až po nadmořskou výšku 5100 m n. m. (SKRZYPEK et al., 2011). V Bolívii a severozápadní Argentině se podle RUTHSATZ (2012) vyskytují od 3800 do 4800 m n. m. Na jihu Chile, kde na ně postupně navazují mokřady s převahou rašelinotvorného rodu *Sphagnum*, tyto mokřady začínají růst od 3200 m n. m. Přirozeně se tyto mokřady vyskytují v oblastech v okolí pramenů, vodních toků, jezer a v ledovcových údolích. Na podstatné části jejich současné rozlohy se stavbou zavlažovacích kanálů podílel člověk (MORLON, 1996).

3.5 Přírodní podmínky

Klimatické nároky pro tyto mokřady nejsou dobře prozkoumány a není ani dosud znám vliv klimatických změn na ně. Z hlediska abiotických podmínek žijí tamní rostliny na hranici možných limitů pro život vyšších rostlin. Musí čelit hypoxii, nízkým teplotám, intenzivnímu slunečnímu záření, teplotám pod bodem mrazu i v průběhu dne a omezené vegetační době, která je tím kratší, čím je daný mokřad jižněji. Rostliny jsou stresovány i zasolením. V podmínkách mírného zasolení v aridních oblastech suché puny dokáže prosperovat například *Oxychloe andina* (SQUEO et al., 2006).

Amplituda denních teplot je v oblastech středního Peru vyšší, než amplituda průměrných ročních teplot. To při dostatku vláhy může umožňovat vegetační dobu po celý rok a o dost rychlejší nárůst mocnosti rašeliny, než je na severní polokouli.

Tyto mokřady mohou dosahovat širokého rozpětí pH, rozpuštěných látek ve vodě i elektrické konduktivity. Tato rašelinště nejsou ombrogenní, ale minerotrofické (RUTHSATZ, 2012, SQUEO et al., 2006), což znamená, že nejsou odkázány z hlediska vláhy a živin pouze na srážky, ale na místní vodní toky, vznikající z tající sněhové pokrývky, ledovců, nebo dešťů, tím se odlišují od vrchovišť severní polokoule (SALVADOR, et al., 2014).

3.6 Morfologické rozdělení mokřadů

Podle rozlohy a tvaru mokřadu, což jsou parametry závislé na reliéfu, jsou rozdělovány mokřady, ve kterých se ukládá rašelina, podle SQUEO et al. (2006), do tří skupin: (i) prameništní, (ii) pánevní a (iii) mokřady plošin. Prameništní a pánevní mokřady se vyskytují především v horském pásu Altoandina (MOLINA, LITTLE, 1981). Mokřady plošin jsou obvyklejší v pásu punanena (používá se též výraz puna bofedales). Schéma těchto typů močálů je uvedeno v Obr. 8.

3.6.1 Prameništní mokřady

První skupina prameništních (svahových) mokřadů (tzv. sloping peatlands) vzniká nedaleko pramenišť na svazích, takže dosahuje jen malých šířek, zasahujících přibližně do desítek metrů, ale mohou být až několik km dlouhé. Tvoří zelený pruh, spolehlivě označující bystřiny. Vzhledem k charakteru bystřiny je zdejší voda převážně sladká a dominuje druh *Distichia muscoides* (SQUEO et al., 2006).

3.6.2 Pánevní mokřady

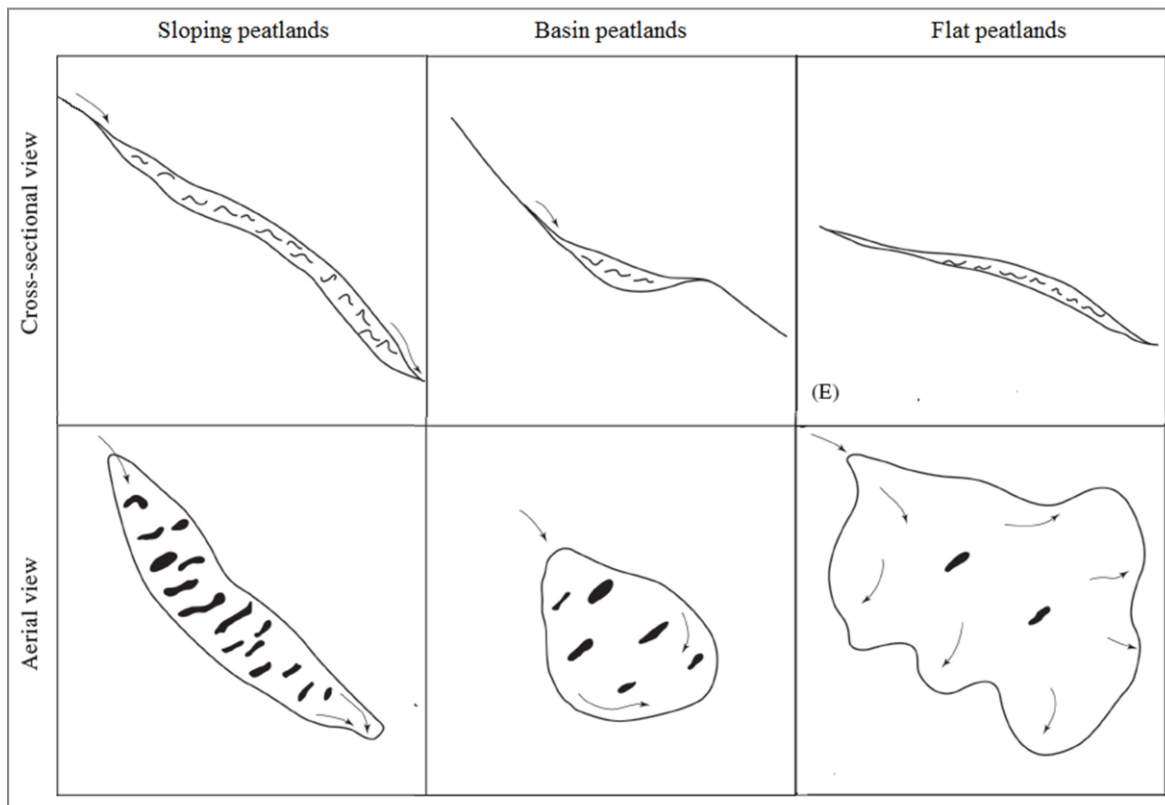
Pánevní mokřady (tzv. basin peatlands) vznikají v přírodních nádržích, vzniklých například přehrazením ledovcovou morénou, a v údolích, kde se mohou rozrůst do větších rozloh, než prvně jmenovaná skupina. Mohou dosahovat šířky až několika stovek metrů a mít i ve směru toku znatelný sklon. Voda je většinou sladká, ale může dosahovat i mírného zasolení (SQUEO et al., 2006).

3.6.3 Mokřady andských plošin

Poslední skupina mokřadů (flat peatland) se vyskytuje na plošinách a má tedy minimální sklon. Dosahuje největších rozloh (až několika stovek hektarů). Na jejich rozšiřování se hloubením kanálů podílí i člověk. Vinou malého průtoku vody se často jedná o slatiniště (SQUEO et al., 2006). MOLINA, LITTLE, (1981) uvádí, že rody *Oxychloe*, *Patosia* *Distichia* jsou endemické pro pás punanena. Se zmenšující se nadmořskou výškou se dá tedy očekávat, že podíl těchto rašelinotvorných druhů v těchto mokřadech klesá na úkor jiných vlhkomilných druhů.

3.7 Paleogeografie

Po dlouhou dobu vznikající organogenní sedimenty umožňují pomocí radiokarbonové metody analyzovat stáří mokřadu, rychlost akumulace a odvozování dávných životních podmínek. V tomto se tyto mokřady neliší od rašelinišť severní



Obr. 8 Schéma typů vysokohorských močálů; SQUEO et al. (2016) upraveno

polokoule, která lze zkoumat stejně. To znamená velký přínos pro výzkum environmentálních podmínek, které panovaly dříve v Andách.

3.7.1 Stáří mokřadů

Podle SQUEO et al. (2006) paleoekologické výzkumy provedené v mokřadech, kde je dominantní druh *Oxychloe andina*, naznačují, že se jedná o poměrně mladé ekosystémy, dodnes se vyvíjející, velmi citlivě reagující na změny v životním prostředí. SQUEO et al. (2006) se domnívá, že mokřady s převahou sítinovitých se začaly v oblasti suché puny objevovat, až když se podmínky z hlediska vodní bilance vyrovnaly, což nastalo v průběhu posledních 3000 let nebo méně. Vrstvu rašeliny, která vznikla před příchodem sítinovitých, v některých případech vytvořil rod *Sphagnum*.

Jeden mokřad, kde rašelina byla tvořena jen ze zbytků Juncaceae, byl hluboký 3,6 m a starý 1000 let (SQUEO et al. 2006). SALVADOR et al. (2014) uvádí, že růst mokřadů v centrálním Chile je 2 metry za 1000 let, což je 2-10 krát rychlejší nárůst hmoty, než je v rašeliništích severní polokoule. ENGEL et al. (2014) ve svém výzkumu uvádí, že průměrné stáří sedimentů v hloubce 735 mm z profilů v údolí Carhuasanty je po kalibraci 4078 ± 81 let. To je o dost pomalejší nárůst, než je uveden v předchozích dvou případech. Na druhou stranu přírůstek v posledních 155 ± 86 letech je 7,5 mm za rok, což by představovalo (pro porovnání s předchozími čísly) přibližně 0,5 m za 1000 let. Při expedici Hatun Mayu 2000 vzorky získané v údolí řeky Apachety byly podrobeny radiokarbonové analýze ^{14}C . Stáří v hloubce 1 metr bylo datováno na 1500 let a na jiném místě v 1,5 metrové hloubce stanoveno na 2200 let (ŠEFRNA, 2004). Rychlost růstu rašelinného sedimentu je tedy různorodý v závislosti na přírodních podmínkách, jako je především teplota, srážky a nadmořská výška.

To, že se tyto ekosystémy vyvinuly v relativně nedávné době, je zajímavé s ohledem na to, že místní rostlinné druhy patří mezi dlouhověké (20-50 let) a tak by se dal očekávat relativně dlouhý vývoj těchto společenstev.

SKRZYPEK et al. (2011) se zabýval výzkumem vývoje klimatu na základě měření isotopů v rašelině. Bylo prokázáno, že pokles množství isotopu ^{13}C v rašelině rostlin rodu *Distichia* znamená nárůst teploty vzduchu v průběhu hlavního vegetačního období ($0,97 \pm 0,23 \text{ ‰ } ^{13}\text{C}/^{\circ}\text{C}$). Na tento výzkum později navázal Skrzypek spolu s ENGEL et al. (2014) a

pomocí měření isotopů v rašelině dokázali rekonstruovat vývoj klimatu až po 4300 let nazpět.

3.8 Význam vysokohorských mokřadů And

Tvorbou rašeliny se mokřady podílí na utváření vzhledu reliéfu. Nánosy mohou dosahovat hloubky několika metrů a několikahektarové rozlohy. Tvoří také retenční zásoby vody, vyrovnávající toky řek v suchých měsících zimy jižní polokoule (červen-září) (SQUEO et al. 2006). Stejně tak díky schopnosti zadržovat vodu umožňují pastvu dobytka v období sucha. V případě zvýšení vodnosti toků svojí přítomností minimalizují vodní erozi (RUTHSATZ, 2012).

Ekologický potenciál pro fixaci CO₂ mají tyto mokřady značně vyšší, než rašeliniště s rodem *Sphagnum*. Například rašeliniště, tvořené *Oxychloe andina*, dokáže pohltit za rok tolik oxidu uhličitého jako desetkrát až stokrát tak velká plocha rašeliniště s rodem *Sphagnum*. Až pětinu váhy rašeliny může představovat organický uhlík (SALVADOR et al., 2014).

Svojí přítomností tyto mokřady často umožňují lidské osídlení v nehostinných oblastech a nezřídka na nich stojí i místní ekonomika. Pro obyvatele středního Peru se totiž jedná o hlavní zdroj paliva na vaření a topení.

Jsou výhodné pro chov dobytka, zejména ovcí, lam (Obr. 7), alpaka a koní. Jiné druhy dobytka se chovají v menší míře. Zejména se jedná o skot. Ten zde může prosperovat díky tomu, že je jako jeden z mála druhů domácích zvířat odolný vůči motolici jaterní (*Fasciola hepatica*), která je v velmi běžným parazitem domácích zvířat, pasoucích se v mokřadech puny (MOREAU et al., 2003). Podle MORLON (1996) alpaka, pasoucí se v mokřadech s výskytem *Zannichellia palustris*, může za dva roky vyprodukovat 4,5 – 5,5 kilogramu vlny, oproti tomu alpaky pasoucí se na suchých místech vyprodukují pouze 1,5 – 2,0 kg vlny za dva roky. Rozloha těchto mokřadů předurčuje velikost stád, která mohou pastevcí vlastnit. Z tohoto důvodu se mokřady nezřídka uměle rozšiřují stavbou kanálů (MORLON, 1996).

MORLON (1996), zabývající se zemědělskými a pasteveckými technikami domorodých obyvatel Altiplana z příhraničních oblastí Bolívie a Peru, uvádí, že místní zemědělci vykopávají pomocí nástroje *chaquetilla* v *champě* bloky půdy v pruzích.

Následně tyhle bloky převrací tak, aby rostlinný koberec směřoval směrem dolů. Obrácené bloky následně položí mezi vykopané pruhy. Na těchto blocích, které jsou mezi zatopenými prohlubněmi, následně mohou pěstovat brambory, ze kterých se posléze vyrábí *chuño*.

Mokřady jsou obecně významné i jako místa s vysokou biodiverzitou. FONKÉN (2014) uvádí, že třetina druhů savců a ptáků, kteří závisí na mokřadech, patří podle stupně ohrožení alespoň mezi málo dotčené, nebo ohroženější. Na mokřady jsou vázáni zástupci jelenovitých jako *Odocoileus virginianus* (jelenec běloocasý), nebo zranitelný, na vysokohorské mokřady vázaný *Hippocamelus antisensis* (huemul severní), který byl v dobách před domestikací velbloudovitých mnohem početnější, než místní lamy a vikuni. Dále tu žijí různé druhy hlodavců jako *Lagidium peruanum*, *Akodon boliviensis* (FONKÉN, 2014).

Býložravci těchto vydatných pastvin lákají samozřejmě i masožravce, z nichž největší je *Puma concolor* (puma americká). Dále tady na kořist číhá *Lycalopex culpaeus* (pes horský/ liška patagonská), nebo *Leopardus colocolo* (kočka pampová).

Kromě pastvin býložravých živočichů slouží mokřady i ptákům k hnízdění. Zejména se jedná o husu *Chloephaga melanoptera*, nandu Darwinova (*Rhea pennata*) nebo nejrůznější druhy kachen. Podle FONKÉN (2014) úzce souvisí rozloha mokřadů s počtem vyskytujících se ptačích druhů.

Extrémnost prostředí a nutnost vyrovnávat se s neustálým střídáním teplot pod a nad bodem mrazu v průběhu dne, neodradila od života v místních mokřadech ani obojživelníky. Konkrétně se jedná o tyto druhy žab: *Gastrotheca marsupiata*, *Rhinella spinulosa*, *Pleurodema marmorata*, *Telmatobius jelskii* (FONKÉN, 2014).

3.9 Ohrožení mokřadů

Vysokohorské mokřady v minulosti dosahovaly v mnoha regionech mnohem větší rozlohy. Vinou změny hospodaření na velké části půdy, způsobené příchodem Evropanů, se rozloha mokřadů v Andách značně zmenšila (MORLON, 1996).

Potřeba ochrany tohoto typu mokřadů v poslední době značně roste vinou antropogenních tlaků. Kromě čistě environmentálních důvodů ochrany, jako je zmenšování areálu husic andských (*Chloephaga melanoptera*), se jedná i o sociální

důvody. Tlak, který na tyto ekosystémy člověk vyvolává, ústí často do sociálních konfliktů o možnost využívání mokřadů. Tomu nahrávají klimatické změny a zejména sucho, kdy se zdroje vody stávají ještě důležitějšími (SQUEO et al., 2006). Mokřady a jejich funkce jsou narušovány řadou antropogenních disturbancí.

SALVADOR, et al. (2014) uvádí nejčastější typ antropogenních disturbancí v sestupném pořadí následovně: pastva, přehrazení cestami a extrakce rašeliny. Mezi další disturbance patří podle SALVADOR, et al., (2014): vysoušení, eroze, stavba železničních tratí, umístování podzemních kabelů, tvorba příkopů, zaplavování či umístování sloupů vysokého napětí.

SALVADOR, et al. (2014) ve své práci udává pro jednotlivé disturbance i míru závažnosti v rozmezí hodnot 1-4. Hodnota 1 by znamenala nejnižší dopad a hodnota 4 dopad nejvyšší. Podle této míry dosahuje například odvodnění hodnoty 3.8, výstavba cest hodnoty 3.6, těžba 3.5, pastva 3.4 a eroze hodnoty 2.1. Podle těchto hodnot je patrné, že největším ohrožením mokřadů je jejich odvodňování.

3.9.1 Vliv pastvy na mokřady

Pastevectví je hlavní obživou domorodých obyvatel a představuje podle SALVADOR, et al. (2014) nejčastější disturbance mokřadů. Nadměrná pastva má za následek vyšší abundanci trav jako jsou *Calamagrostis rigescens*, *Eleocharis albibraceata* a *Aciachne puvinata*, protože je spásací nepreferují (SALVADOR, et al. 2014).

Negativní důsledky má i kompetice mezi ovce a alpakami či lamami. Pastva ovce má pro mokřady horší dopad než pastva velbloudovitých (BAIED, WHEELER, 1993). Lamy a alpaky jsou totiž více selektivními spásací a jejich pohyb a pastva nezpůsobují takovou erozi půdy jako kopyta ovce. Ještě vyšší ohrožení pro mokřady představuje pastva skotu a koní (FONKÉN, 2014).

Někdy se provádí rozšiřování těchto mokřadů člověkem za účelem zlepšení podmínek pastvy. To může vést k vysychání přírodně vzniklých mokřadů, protože antropogenně vzniklé mokřady odvádí vodu z přírodně vzniklých mokřadů. Většinou se ale jedná o zanedbatelnou disturbance (SALVADOR et al. 2014, SQUEO et al., 2006).

3.9.2 Ohrožení mokřadů plynoucí z budování infrastruktury a hornické činnosti

Násypy cest často mohou přehrazovat mokřady a tak se podílet na jejich vysoušení. Jedná se o nejčastější narušení mokřadů v okolí důlních děl, pro které je potřeba dostatečné zásobování vodou. Pro ulehčení těžby je někdy také oblast odvodňována, což nevyhnutelně vede k zániku mokřadů. Ne příliš vyspělé těžbařské technologie vedou k uvolňování toxických odpadů do životního prostředí (SALVADOR et al., 2014).

3.9.3 Neantropogenní disturbance

Ohrožení spočívá i ve změně srážkového režimu souvisejícího s globální klimatickou změnou. Studovanou oblast sužuje sucho. Současné srážky v severo-centrálním Chile dosahují poloviny z toho, co před sto lety a úbytek srážek se stejným tempem očekává i do budoucna (SQUEO et al., 2006).

Zejména umělé mokřady jsou velmi náchylné na vysychání, takže je potřeba údržba, zajišťující neustálý přísun vody. V případě vyschnutí mokřadu může případná náprava do původního stavu trvat i několik let (MORLON, 1996).

3.9.4 Ochrana mokřadů

Z výše popsaných důvodů se v posledních letech rychle rozvíjí ochrana mokřadů, ale bude třeba podniknout ještě řadu výzkumů pro vytvoření managementu, zajišťujícího správnou ochranu (SQUEO et al, 2006). V posledních letech se čím dál tím více vysokohorských mokřadů (*bofedales*) dostává pod ochranu vyplývající z Ramsarské úmluvy, pod kterou je dnes konkrétně v Peru 6 mokřadů (FONKÉN, 2014).

Jednou z cest ochrany těchto mokřadů je sledování a omezování čerpání podzemní a nadzemní vody jako se dělá v regionech Tarapaca a Antofagasta v Chile, aby se zabránilo zániku mokřadů v těchto regionech (SQUEO et. al, 2006)

Jednou z již uplatňovaných metod ochrany mokřadů je omezení pastevectví v některých oblastech. SALVADOR et al. (2014) zmiňuje například Juninskou národní rezervaci, kde se můžou pást jen zvířata místních pastevců. Cizinci z jiných oblastí sem přivádět stáda nemohou, aby mohla být pastva více kontrolována. V některých jiných oblastech bylo na určitou dobu zamezeno pastevectví úplně. STONE (1992) v SQUEO et al. (2006) tvrdí, že nedostatek znalostí o těchto ekosystémech vedl k jejich špatné ochraně.

Rodiny, které hospodaří na uměle vytvořených kanálech, provádějí každoroční údržbu v období sucha, kdy kanály čistí. Tato činnost je pro řadu místních kmenů důležitým rituálem a součástí jejich kultury (MORLON, 1996). Někdy je ale těžké rozeznat, kdy se opravdu jedná o péči o krajinu, protože zánik mokřadů může být přirozenou součástí vývoje těchto křehkých ekosystémů (SQUEO et al., 2006).

3.10 Mokřady v pramenné oblasti Amazonky

Mokřady se v zájmovém území nachází hlavně v ekoregionu puna a zasahují až do pásma riti. Přestože JANSKÝ et al. (2004) uvádí, že horní hranice výskytu vyšších rostlin v oblasti je 4950 m n. m. v pásmu riti, Skrzypek et al. (2011) pracoval se vzorky mokřadů z pohoří Chila z nadmořské výšky 5049 metrů.

Hlavním ulmifikačním druhem zde je *Distichia muscoides*. Tomu odpovídá i místní konduktivita, která byla nejvyšší naměřena v Carhuasantě a to $51,4 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ (JANSKÝ et al., 2004). Na základě satelitních snímků bylo odhadnuto, že místní mokřady pokrývají 5-10 % zájmové oblasti, což jsou přibližně 4 km^2 . Mocnost sedimentů (rašeliny) těchto mokřadů činí v krajních mezích 4 m. Jedná se o mokřady prameništní a pánevní. Pro rozšíření zdejších mokřadů zde pastevci vytvořili vodní kanály, které tak zlepšují pastevecké možnosti oblasti (Šefrna, 2004).

4 Data a metody

Cílem práce je určit rozlohu mokřadů v pramenné oblasti Amazonky. To přináší řadu výzev, protože jako i u jiných typů mokřadů jsou i u *bofedales*, kvůli rozsáhlým ekotonům, obtížně vymežitelné jejich přesné hranice. Za mokřady v pramenné oblasti Amazonky budou považovány porosty s dominantní *Distichíí*. Při vymežování mokřadů se bude vycházet z toho, že rostliny rašeliniště vytváří zelené koberce/polštáře s rostlinným pokryvem na 70 % plochy mokřadu a tak jsou oproti svému okolí velmi kontrastní, protože povrch okolní subalpínské puny je pokryt rostlinami jen z 22 % (SQUEO et al., 2006). To by mělo pomoci při jejich rozpoznání a analyzování.

4.1 Klasifikace mokřadů v zájmové oblasti na základě multispektrálních dat

Pro vymezení jednotlivých kategorií krajinného pokryvu, jako jsou mokřady, existuje velké množství metod dálkového průzkumu. K žádné z těchto metod se bohužel nedá přistupovat jako k naprosto spolehlivé a je potřeba výsledek ověřit daty pořízenými *in situ*, pokud je to možné. Komplikace při rozeznávání krajinného pokryvu jsou způsobeny zejména podobnou spektrální odrazivostí různých typů povrchů, prostorovým rozlišením radiometrů, změnami v průběhu času, jaké může způsobovat například sucho nebo roční cyklus, dále mají vliv různé stavy atmosféry atd. Metody využití v této práci jsou ruční vektorizace a spektrální vegetační indexy, konkrétně NDVI a NDMI.

Data byla zpracována v softwaru ArcMap 10.4.1. Pro ruční vektorizaci byla jako podkladová mapa použita vrstva World Imagery, která je dostupná v ArcMap jako podkladová vrstva a jedná se georeferencované letecké snímky. Tyto snímky pro zájmovou oblast vytvořila a připravila společnost DigitalGlobe. Rozlišení pixelů v oblasti je 0,5 metru a snímky byly pořízeny 29. května 2016.

Družicový snímek zpracovaný v této práci byl pořízený v rámci mise Sentinel-2, kterou provádí Evropská kosmická agentura (ESA) a byl pořízen 5. dubna 2017. Tento snímek byl použit kvůli tomu, že jde o bezoblačný snímek a ze skoro stejného období jako letecké snímky, nad kterými se ručně vektorizovalo. Bohužel snímky z roku 2016 nebyly v průběhu psaní této bakalářské práce dostupné s provedenými atmosférickými korekcemi a byly pouze v operativním módu. Snímek byl oříznut (funkce Extract by Mask

v ArcMap) podle vrstvy pramenné oblasti Amazonky, kterou poskytla Katedra fyzické geografie a geoekologie Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy.

Snímky mise Sentinel-2 je možné stáhnout z portálu Earth Explorer, který provozuje Americká geologická služba (USGS). Oproti misím Landsat mají tato data výhodu v lepším prostorovém rozlišení pásem viditelného spektra a blízkého infračerveného záření (pásma 2, 3, 4 a 8). Oproti misi Landsat 8 má Sentinel-2 tu výhodu, že hodnoty snímků Sentinel-2 po atmosférických korekcích nedosahují záporných hodnot, které velice negativně mohou ovlivnit vegetační indexy (USGS, 2018 a).

4.1.1 Ruční vektorizace

Pravděpodobně nejspolehlivější metodou rozeznávání krajinného pokryvu je ruční vektorizace nad leteckým snímkem s dostatečným rozlišením. Metoda je na druhou stranu naprosto nevhodná pro rozlehlé oblasti vzhledem k časové náročnosti na straně zpracovatele, který musí osobně vymezit veškeré kategorie krajinného pokryvu, které ho zajímají. Výhodou i nevýhodou zároveň je, že uživatel může subjektivně posoudit vymezení jednotlivých krajinných prvků v krajině. Výhodné je to díky možnosti posouzení každého rozeznaného prvku na základě zkušeností zpracovatele, který tak má plnou kontrolu nad všemi výstupy. Nevýhodné to je vzhledem k tomu, že vícero zpracovatelů, zpracovávajících tu samou část, může dojít k rozdílným výsledkům ve vymezení jednotlivých kategorií. Výsledky ruční vektorizace mokřadů v této práci budou sloužit k porovnání s ostatními metodami, protože se u nich dá očekávat nejvyšší přesnost. Zároveň se na základě těchto výsledků budou určovat prahové hodnoty pro vymezení mokřadů pomocí spektrálních indexů.

4.1.2 Vegetační index NDVI

S jednotlivými pásmy snímku v různých vlnových délkách se dá pracovat například pomocí vzájemného porovnávání hodnot odrazivosti. Tato porovnání se nazývají spektrální indexy a jedním z nejdůležitějších spektrálních indexů je normalized difference vegetation index (NDVI) navržený dle ROUSE et al. (1974) pro pásmo 5 a 7 u první mise Landsat. Jeho hodnota měla být hypoteticky vztažena k množství živé rostlinné biomasy v rámci jednoho pixelu. Jeho princip spočívá v tom, že chlorofyl v rostlinách spotřebovává modré a červené záření pro své vnitřní pochody (fotosyntéza). Zelená část záření je

odmítána a proto odrážena do okolí. Stejně tak blízké infračervené záření rostliny výrazně nevyužívají a odráží se zpět. Holá půda odráží jak červenou (RED) část elektromagnetického spektra, tak blízkou infračervenou (NIR) část spektra v mnohem vyrovnanějším poměru než rostliny, které oproti NIR odrazí mnohem menší poměr červeného záření. Z tohoto předpokladu vychází vzorec pro normalizovaný vegetační index, který je $(NIR-RED)/(NIR+RED)$.

Využití NDVI je velmi rozsáhlé a jedná se obecně o nejpoužívanější spektrální index (MOREAU et al., 2003). K vymezení vegetace v mokřadech okolo jezera Balchaš byl tento index využit například v CHANGMING ZHU et al., 2011. Index může teoreticky dosáhnout hodnot od -1 do +1. U indexu NDVI hodnoty kolem 0,2 už většinou představují řídkou vegetaci. Záporných hodnot dosahují někdy mraky, ledovce a voda (USGS, 2018 b).

Problémem při využívání spektrálních indexů pro klasifikaci povrchu je určení prahových hodnot pro vymezení jednotlivých kategorií. Autor této práce se pokusí prahové hodnoty pro mokřady určit pomocí hodnot spektrálních indexů ve vrstvě mokřadů vymezených ruční klasifikací a v jejich okolí. Použitá pásma Sentinel-2 pro výpočet budou infračervené pásmo 8 a pásmo 4 v červené části elektromagnetického spektra.

4.1.3 Vegetační index NDMI

Na podobném principu funguje i normalized difference moisture index (NDMI), který slouží k pozorování obsahu vody ve vegetaci navržený CIBULOU et al. (1992) pro sledování vodního stresu u rostlin. Čím je obsah vody ve vegetaci vyšší, tím by měla být vyšší i hodnota indexu. Výhodou tohoto indexu oproti NDVI je, že umožňuje rozeznávat vlhkou mokřadní vegetaci od okolní vegetace. Vzorec je $(NIR-SWIR)/(NIR+SWIR)$. I tento index dosahuje hodnot od -1 do 1 a vyšší hodnota by měla představovat vlhčí vegetaci (LAŠTOVIČKA, 2016).

Pro výpočet indexu bude využito blízké infračervené pásmo 8 ze Sentinelu-2 a infračervené pásmo 12 v rozsahu 2,072 až 2,312 μm .

4.2 Průměrné roční srážky z meteorologických stanic poblíž zájmové oblasti

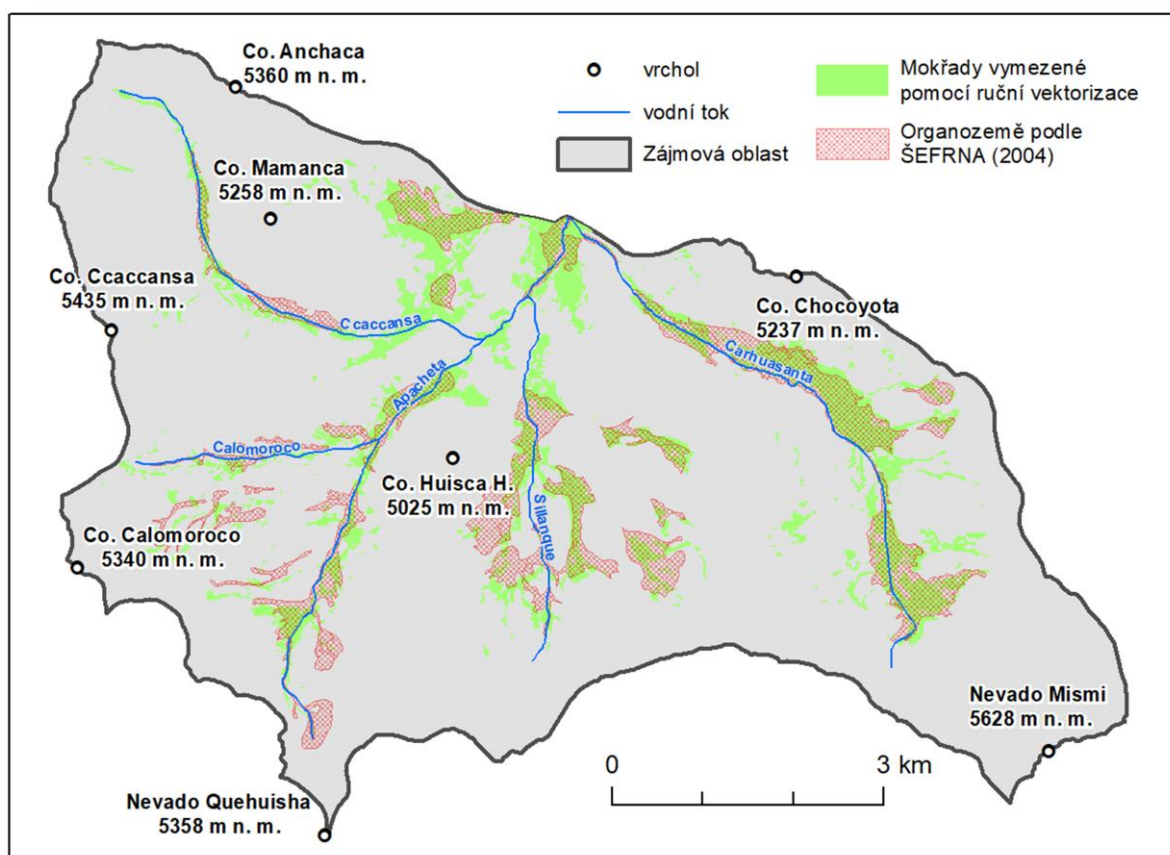
Kvůli nejednoznačnosti zařazení puny zájmového území byla část bakalářské práce věnována i vyhodnocení průměrných srážek v modelovém území. Vyhodnocena byla data z meteorologických stanic provozovaných organizací Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI. Denní údaje o srážkách včetně historických dat z meteorologických stanic pro celé Peru jsou dostupné na internetovém portálu <http://www.senamhi.gob.pe>. Zde je možné vybrat jednotlivé stanice a jejich údaje. Kvůli těžko přístupnému terénu se jednalo o automatické stanice, které měří srážky dvakrát denně v 7:00 a 19:00. Roční úhrn srážek představuje tedy součet 730 hodnot. Chybové hodnoty byly zaznamenány jako -888, ty byly v konečném součtu považovány za hodnotu 0 mm. Nicméně v Tab. 4 je uveden počet chybových měření u daných stanic.

Meteorologické stanice byly vždy v terénu umístěny na přechodnou dobu. Roční úhrn srážek byl tedy počítán jen z let, které byly k dispozici. Pro město Caylloma byly vypočítány průměrné roční úhrny srážek z celkem tří různých stanic v jejím okolí. Pokud byla měření (vyjma zaznamenaných chyb měření) za rok neúplná, takové roky nebyly nijak započítány do průměru.

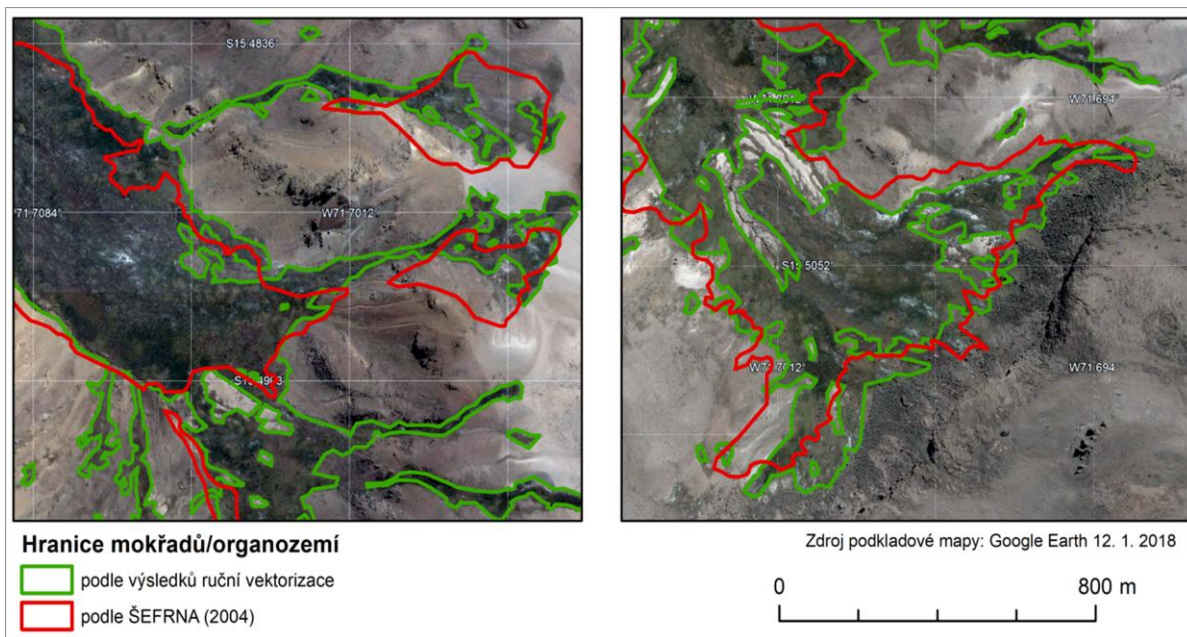
5 Výsledky

5.1 Ruční vektorizace mokřadů Amazonky

Pomocí metody ruční vektorizace bylo v rámci celé oblasti vymezeno 6,42 km² mokřadů, což představuje 11,23 % rozlohy oblasti. Porovnání ruční vektorizace a vrstvy organozemí pramenné oblasti, publikované ŠEFRNOU (2004), je vidět na Obr. 9 a 10. ŠEFRNA (2004) rozšíření organozemí mapoval během expedice Hatun Mayu 2000. Jak je vidět, výsledky vektorizace jsou rozsáhlejší oproti vrstvě organozemí, která má 5,43 km², tedy 9,50 % rozlohy oblasti.



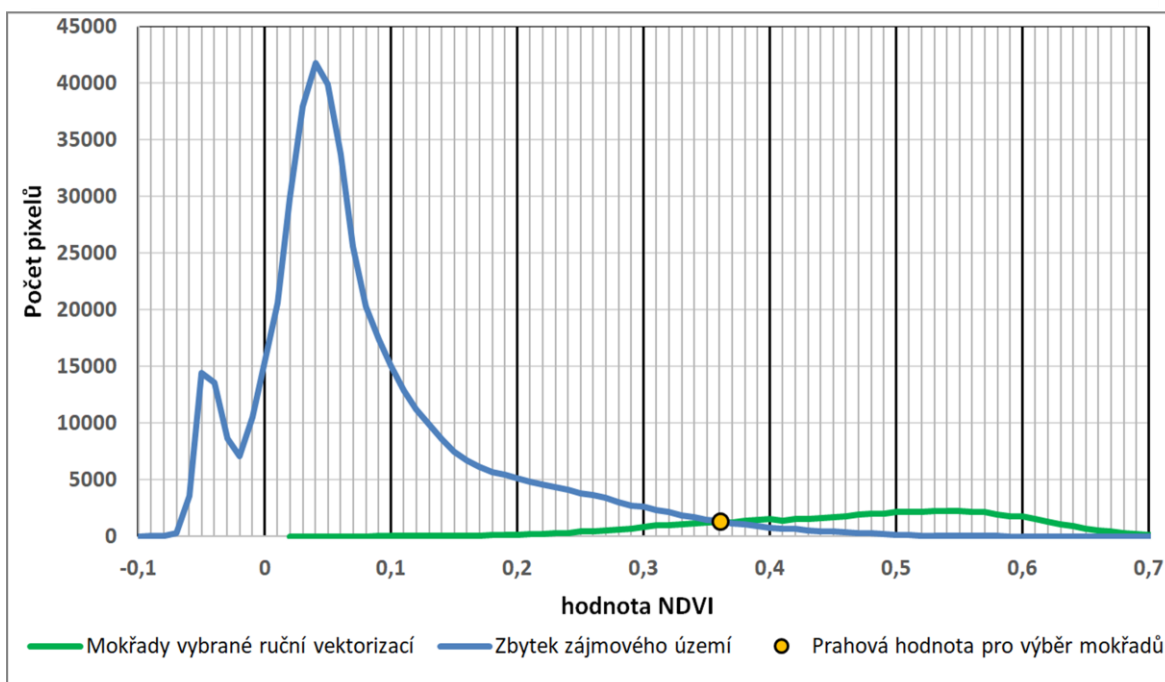
Obr. 9 Mokřady vymezené ruční vektorizací a vrstva organozemí dle ŠEFRNA (2004) v zájmové oblasti



Obr. 10 Porovnání vymezení mokřadů pomocí ruční vektorizace a dle ŠEFRNA (2004) nad ortofotomapou dvou různých lokalit

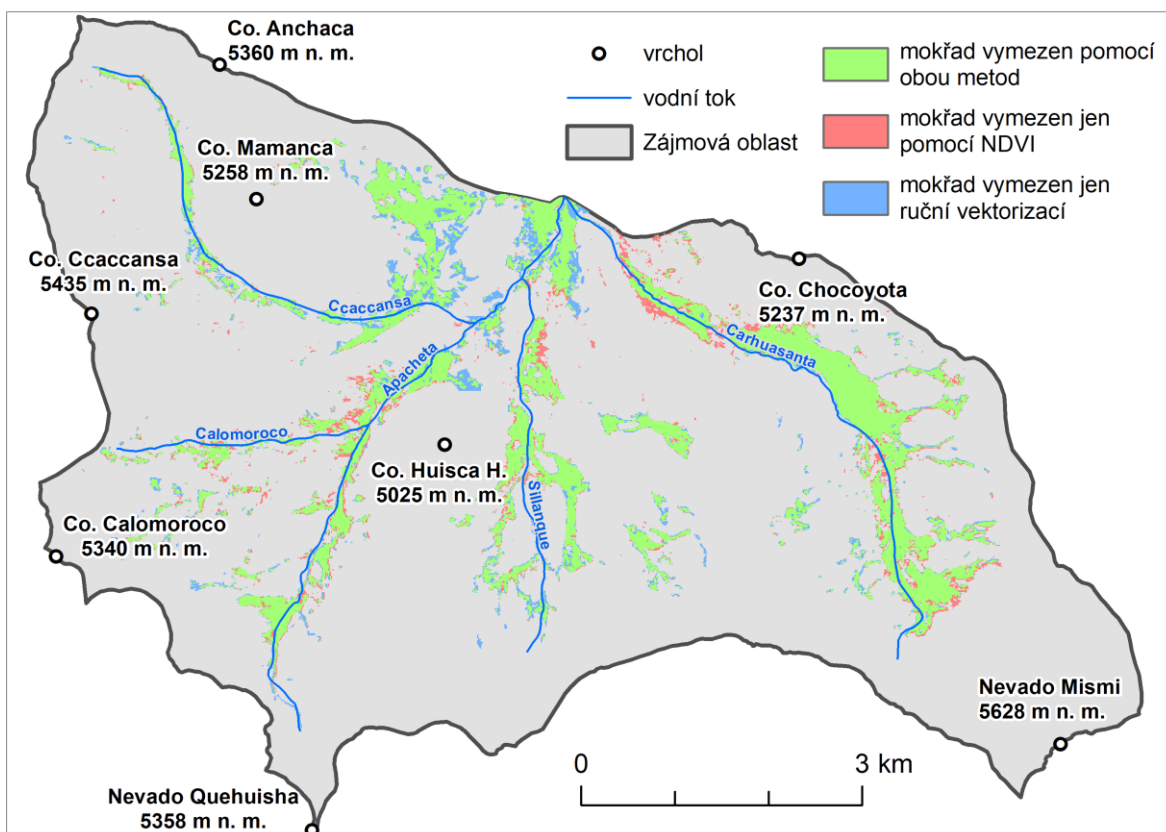
5.2 Vymezení mokřadů pomocí spektrálního indexu NDVI

Po provedení výpočtu indexu NDVI byly, ve snaze najít vhodnou prahovou hodnotu, rozděleny pixely do dvou skupin podle toho, zda leží v mokřadech vymezených pomocí ruční vektorizace, nebo v jejich okolí. Variabilitu hodnoty NDVI v mokřadech



Obr. 11 Histogramy NDVI mokřadů a jejich okolí

vymezených ruční vektorizací ukazuje box plot na Obr. 15. Medián hodnot NDVI v rámci mokřadů vymezených ruční vektorizací má hodnotu 0,49. Mezikvartilové rozpětí hodnot není velké, 50 % hodnot pixelů, které byly určeny jako mokřady, je v intervalu NDVI 0,39 – 0,55. Jako odlehlé hodnoty byly v tomto boxplotu označeny ty hodnoty, které měly NDVI menší než 0,14, celkem se jednalo o 254 hodnot. Následně se pro obě skupiny (pixely ležící v mokřadech vymezených pomocí ruční vektorizace, nebo v jejich okolí) vynesl histogram hodnot, který je vidět v Obr. 11. V tomto grafu osa y představuje počet pixelů, které byly rozděleny do kategorií po 0,01 NDVI. Na histogramu pro okolí mokřadů je vidět kolem hodnoty -0,05 vrchol, který představuje zasněženou oblast zájmového území. Největší zastoupení pixelů, které představují území mimo mokřady, se koncentruje kolem hodnoty 0 – 0,1. U mokřadů je nejvyšší koncentrace pixelů pro tento snímek v rozmezí 0,5 – 0,6. Při přeložení obou histogramů přes sebe, se zdá, že nejvhodnější prahová hodnota leží v rozmezí hodnot 0,3 – 0,4. Mezi hodnotami 0,36 a 0,37 se histogramy obou skupin protínají. Z tohoto důvodu byla prahová hodnota pro mokřady pramenné oblasti Amazonky určena jako 0,36. Celkově tak bylo vybráno 6,06 km² mokřadu, tedy o 0,36 km² mokřadů méně než při ruční vektorizaci.



Obr. 12 Porovnání mokřadů vybraných na základě ruční vektorizace a NDVI.

Jak je vidět na Obr. 12, drtivá většina mokřadů byla rozpoznána oběma metodami. Pixely rozeznané jako mokřady pouze ruční vektorizací se nacházejí především poblíž soutoku Carhuasanty a Apachety. Pixely rozeznané pouze pomocí prahové hodnoty 0,36 NDVI se nejvíce nacházejí v dolní části toku Carhuasanty, u soutoku Apachety s Calomoroco a dolní části toku Sillanque.

V Tab. 2 je vidět, že 85,4% pixelů, které byly vybrány ruční vektorizací, byly vybrány zároveň pomocí prahové hodnoty u spektrálního indexu NDVI. Téměř 20 % pixelů, které ale byly rozeznány jako mokřady pomocí ruční vektorizace, nebyly rozeznány pomocí spektrálního indexu NDVI. Tento podíl pixelů, které nebyly rozeznány pomocí NDVI, by mohlo vysvětlit zastoupení vodních a zamrzlých vodních ploch, které na rozdíl od zdravé vegetace odráží více červeného, než infračerveného záření.

	Počet pixelů/arů	Podíl pixelů z ruční vektorizace	Podíl pixelů vybraných NDVI>0,36
ruční vektorizace	64257	100,0 %	85,4 %
NDVI>0,36	60649	80,6 %	100,0 %
Vybráno pouze vektorizací	12470	19,4 %	0,0 %
Vybráno pouze NDVI>0,36	8862	0,0 %	14,6 %
Vybráno na základě obou metod	51787	80,6 %	85,4 %

Tab. 2 Porovnání mokřadů vybraných na základě ruční vektorizace a NDVI

5.3 Vymezení mokřadů pomocí indexu NDMI

Variabilita vypočítané hodnoty indexu NDMI je v mokřadech shodná s variabilitou NDVI (Obr. 15). Medián NDMI pixelů v místech, kde byly vymezené mokřady ručně, je 0,45. Polovina těchto hodnot leží v intervalu 0,39 – 0,56. Jako odlehlé hodnoty byly nyní vybrány dva pixely s hodnotou NDVI 0,02.

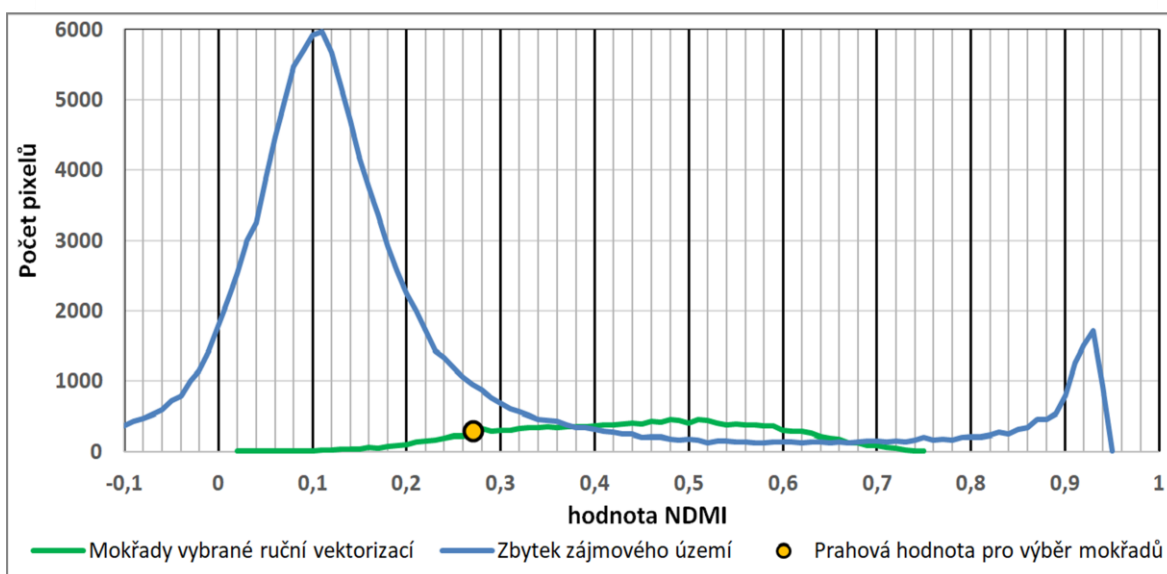
NDMI dosahuje nejvyšších hodnot v místech sněhové pokrývky, protože ta má nejvyšší poměr odrazivosti blízkého infračerveného a krátkovlnného infračerveného záření. Z toho plyne, že lokální maximum, představující sněhovou pokrývku na rozdíl od NDVI leží v části grafu, která je nejvíce vpravo. Jak je vidět na Obr. 13, jedná se o hodnoty 0,8 a vyšší. Nejvíce pixelů mimo mokřady leží kolem hodnoty 0,1. Nejvyšších počtů pixelů u mokřadů dosahují hodnoty v rozmezí kolem 0,5 NDMI. Kvůli sněhové pokrývce v oblasti tedy není možné použít pro oddělení mokřadů od okolí pouze jednu konkrétní prahovou hodnotu. Zároveň se nezdá vhodné použít dvě prahové hodnoty, které by odlišily

nejenom led a sněhovou pokrývku od mokřadů, ale i mokřady od svého okolí, protože při pohledu na protínající se histogramy je zřejmé, že při podobném použití prahové hodnoty, jaké bylo použito u indexu NDVI, by se z výsledku vyřadil značný počet pixelů, které představují mokřady.

Při výběru mokřadů je tedy kromě výběru prahové hodnoty potřeba odfiltrovat hodnoty, které představují sněhovou a ledovou pokrývku. Toho se může dosáhnout díky rastru NDVI, kde sníh a led dosahuje velmi nízkých až záporných hodnot. Tam, kde je tedy hodnota NDVI vyšší než 0,3, si můžeme být jisti, že neleží sněhová pokrývka a jedná se o hodnotu mimo vrchol většiny hodnot v okolí mokřadů a pravděpodobně se již bude jednat o pixely se zastoupením vegetace, viz Obr. 11.

Po odfiltrování hodnot představujících sníh, led a území bez vegetace pomocí prahové hodnoty NDVI, bylo potřeba určit ještě prahovou hodnotu NDMI, která by oddělila mokřady od jejich okolí. Jak je vidět na Obr. 13, zastoupení pixelů mokřadů získaných pomocí ruční vektorizace se v rozmezí 0,27 až 0,4 příliš nemění a v intervalech 0,1 je v tomto rozmezí umístěno přibližně 300 pixelů. Z tohoto důvodu pro výběr mokřadů jsem jako prahovou hodnotu použil číslo 0,27.

Celková rozloha mokřadů vymezených touto metodou je 6,88 km². Jak je vidět při srovnání Obr. 12 a 14, místa, kde nebyly rozeznány mokřady pomocí ruční vektorizace, ale podle obou zde aplikovaných metod s vegetačními indexy, jsou víceméně shodná. Jedná se hlavně o povodí Carhuassanty před soutokem s Apachetou, dolní část toku Sillanque a



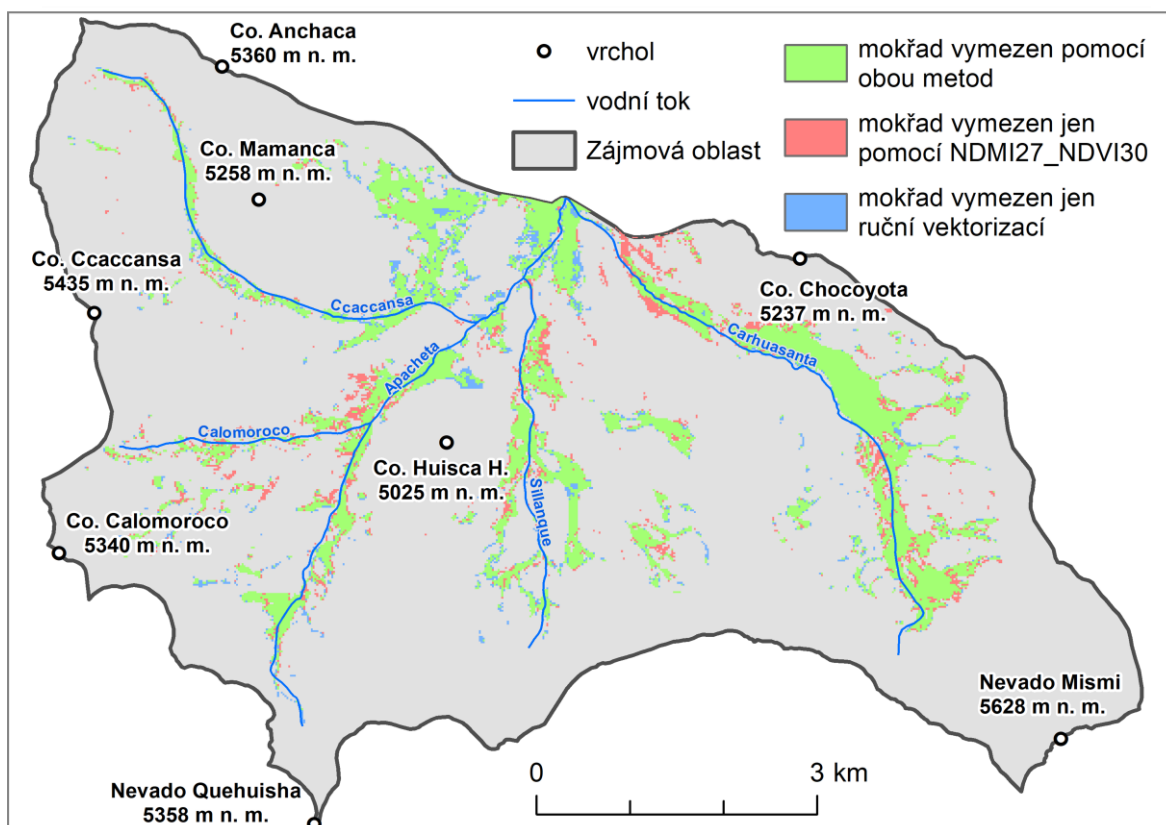
Obr. 13 Histogramy NDMI mokřadů a jejich okolí

část povodí Apachety po jejím soutoku s Calomoroco. Mokřady, které byly rozeznány pomocí ruční vektorizace, ale ne podle indexů, jsou zdá se různě rozmístěné podél vodních toků, aniž by tvořily větší agregáty.

	Počet pixelů	Podíl pixelů z ruční vektorizace	Podíl pixelů vybraných NDMI>0,27; NDVI>0,30
ruční vektorizace	16134	100,0 %	81,2 %
NDMI>0,27* NDVI>0,30	17209	86,6 %	100,0 %
Vybráno pouze vektorizací	2166	13,4 %	0,0 %
Vybráno pouze NDMI>0,27; NDVI>0,30	3241	0,0 %	18,8 %
Vybráno na základě obou metod	13968	86,6 %	81,2 %

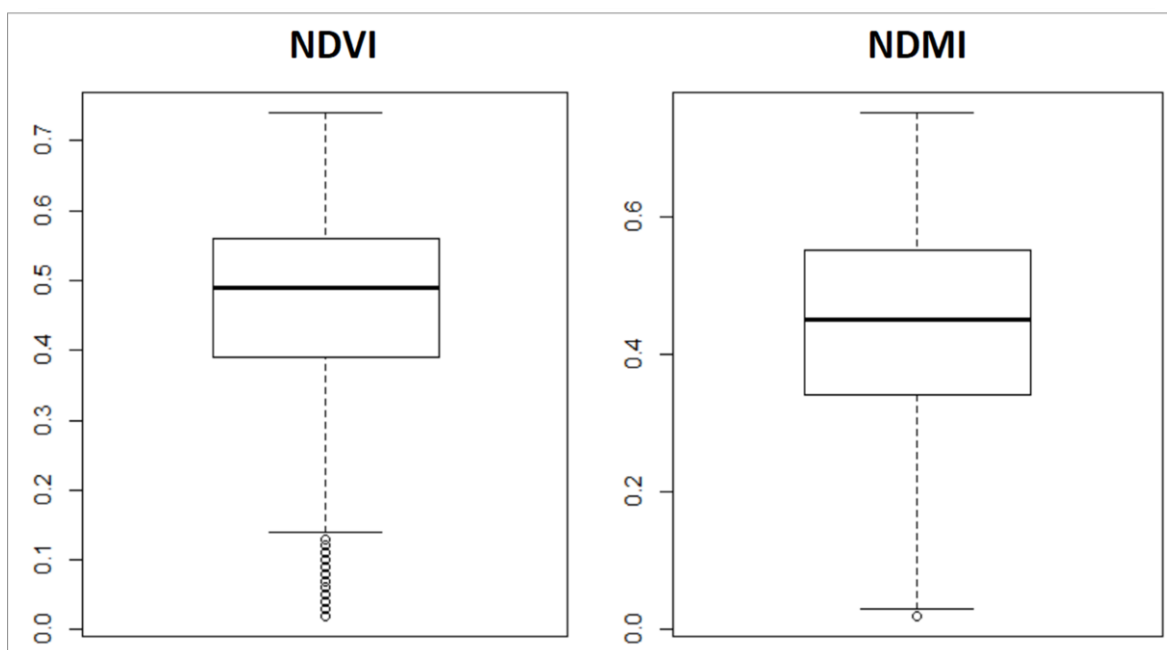
Tab. 3 Porovnání mokřadů vybraných na základě ruční vektorizace a NDMI

Při srovnání Tab. 2 a 3 je vidět, že kombinace spektrálních indexů NDVI a NDMI dokázala určit vyšší podíl pixelů, než co bylo určeno ruční vektorizací. Zároveň tento způsob vymezení mokřadů vedl k většímu podílu pixelů (18,8 %), které nebyly vymezeny pomocí ruční vektorizace. Absolutní počet pixelů v těchto tabulkách není srovnatelný, protože pásmo 12, které bylo pro výpočet NDMI použito, mělo rozlišení 20 metrů, takže



Obr. 14 Porovnání mokřadů vybraných na základě ruční vektorizace a NDMI

stejné rozlišení mají i výsledné rastry. Naopak rozlišení rastru NDVI bylo 10 metrů. Z toho plyne, že počet pixelů určených ruční vektorizací v Tab. 3 oproti Tab. 2 by měl být čtvrtinový.



Obr. 15 Boxploty hodnot NDMI a NDVI v rámci mokřadů vymezených ruční vektorizací

5.4 Příspěvek k poznání srážkových poměrů a zařazení puny zájmového území

Jednotlivé rozložení srážkoměrných stanic v okolí pramenné oblasti řeky Amazonky je patrné z Obr. 16, kde jsou uvedené i nadmořské výšky stanic. Pojmenování stanic vymyslel autor podle nejbližšího významného vrcholu, nebo osídlení pro lepší orientaci ve výsledcích. Z Tab. 4 je patrné, že průměrný roční úhrn srážek se pohybuje v oblasti od 550 mm do 860 mm. Data byla zpracována v prosinci 2016.

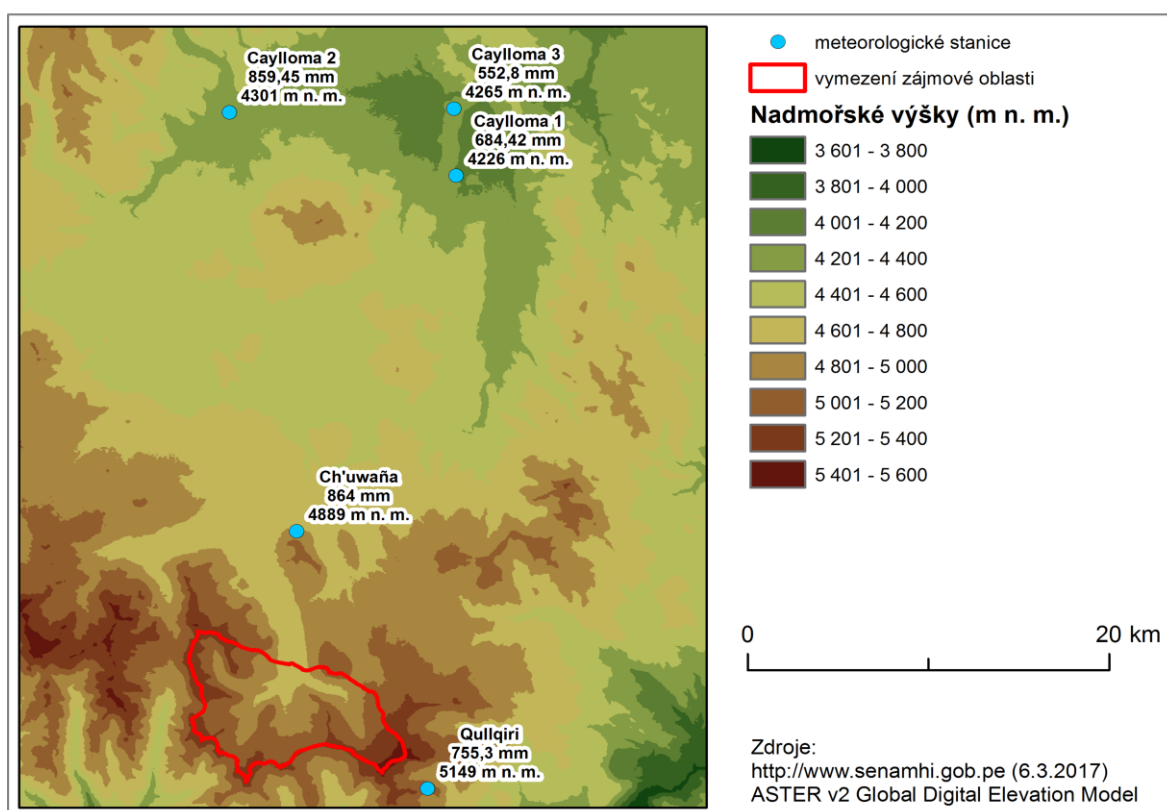
Stanice	s. z. š.	s. z. d.	analyzované roky	Chybná měření	průměrné roční úhrny srážek	vzdálenost od zájmové oblasti
Qullqiri	-15,5336°	-71,6669°	1978-1980 (3 roky)	47	755 mm	2,5 km
Ch'uwaña	-15,4003°	-71,7336°	1971-1974 (4 roky)	47	864 mm	8 km
Caylloma 1	-15,2169°	-71,6503°	1976-1980 (5 let)	111	684 mm	30 km
Caylloma 2	-15,1836°	-71,7669°	1998-2001 (4 roky)	34	859 mm	30 km
Caylloma 3	-15,1825°	-71,6514°	2010	9	553 mm	33 km

Tab. 4 Charakteristiky analyzovaných stanic

Hodnoty ročních úhrnů srážek jsou trochu podhodnocené, protože za chybná měření nebyly dodány hodnoty, které by aproximovaly chod srážek, ale byly nahrazeny hodnotou 0. Za předpokladu, že by se tyto hodnoty nahrazovaly nějakými jinými hodnotami, bylo by dobré použít průměrnou hodnotu srážek za půl den v průběhu konkrétního měsíce na analyzované stanici.

Jiří Kastner v knize K PRAMENŮM AMAZONKY (JANSKÝ et al., 2004) uvádí, že roční úhrn srážek v pramenné oblasti Amazonky sahá od 500 mm do 800 mm. Zjištěné informace tomuto odpovídají, nicméně výsledné hodnoty odpovídají spíše horní hranici tohoto vymezení.

Při srovnání celkových ročních úhrnů srážek a rozdělení podle typů puny uvedených v Tab. 1 se zdá, že zájmová oblast spadá pod vlhkou punu (ARROYO, CAVIERS 2013; TROL, 1968). Podle rozdělení, které uvádí SQUEO et al. (2006) se jedná dokonce o srážky, které jsou nad rámec jeho vymezení puny. To bude pravděpodobně způsobené tím, že se zabývá o dost suššími oblastmi And více na jih v Chile. Z hlediska rozdělení, které uvádí MOLINA, LITTLE (1981), tedy 800-1200 mm pro vlhkou punu, vypovídají roční



Obr. 16 Umístění meteorologických stanic v okolí zájmového území.
 úhrny srážek v pramenné oblasti Amazonky o hraničních hodnotách mezi vlhkou a suchou

punou. To koresponduje s ŠEFRNA (2004), který uvádí, že vegetace v zájmové oblasti odpovídá suché puně.

6 Diskuze

Studium vysokohorských mokřadů v Jižní Americe přináší řadu úskalí. Výzkumníci berou často v potaz jen punu, která se nachází na území státu, kde bádají, a srovnávají punu pouze s ostatními bioregiony v rámci jejich státu. Při studiu jejich publikací se tak člověk často musí vyrovnat s protichůdnými informacemi. Jedním příkladem z mnoha je rozdělení puny podle srážek. Výzkumníci rozdělují punu na vlhkou a suchou na základě podmínek panujících na území jejich státu, ne v rámci puny jako celku. Konkrétně třeba pro výzkumníky z Peru představuje pramenná oblast Amazonky suchou punu. Naopak pro výzkumníka z Chile se jedná o nejvlhčí typ puny. Jako velkou chybu vnímám to, že tito autoři většinou nezmiňují, že se jedná o jejich národní rozdělení typu puny podle srážek. To potom může přispívat ke zmatení badatelů z cizích zemí.

Jiný příklad, kde spatřuji v odborných publikacích nedostatky, představují údaje o minimální nadmořské výšce výskytu mokřadů s *Distichii*. Tato minimální nadmořská výška spolu s teplotami směrem k jihu klesá, a přesto řada výzkumníků ve svých publikacích uvádí pouze nadmořskou výšku bez zeměpisné šířky, pro kterou by tento údaj měl platit. Člověk, studující jejich články, si tak musí domýšlet, že se nejedná o obecně platné údaje, ale že se týkají pouze oblasti zájmu badatele. Nejednotné je i pojmenování vysokohorských mokřadů. Nejrůznější národy žijící v Andách mají pro tyto mokřady různé názvy (*champa*, *ocojales*) a pod různými jmény se také objevují v odborné literatuře. ŠEFRNA (2004) uvádí název *champa*. Pokud se člověk pokusí pomocí tohoto slova vyhledávat na internetu, narazí na stránky a obrázky, které se týkají mnoha věcí, ale mokřadů s *Distichii* ne. Jediné stránky, kde se tento výraz používá pro tyto mokřady, jsou ty, které se týkají české výpravy Hatun Mayu 2000, jako jsou například rozhovory s účastníky. Naopak při vyhledávání pomocí slova *bofedales*, se objeví takřka výhradně texty, týkající se těchto mokřadů. Je to i výraz dominující v odborné literatuře a neznámá pouze kanály uměle vytvořené lidmi. Z tohoto důvodu je myslím vhodné, aby se pro mokřady s *Distichii* používal název *bofedales*.

Bylo by tedy dobré, aby výzkumníci zabývající se punou a mokřady s *Distichii*, více komunikovali napříč jednotlivými státy, vymezili si vzájemně pojmy, dohodli se na rozdělení jednotlivých kategorií a pokusili se zkoumat punu společně a pokud možno i v širším měřítku.

Článků o mokřadech s *Distichíí* není mnoho. Přesto jsem při studiu dostupných publikací získal dojem, že se jedná o zcela zásadní prvek ekosystému puny. Neméně zásadní je i pro život místních obyvatel. Je tedy zážející, že řada článků věnujících se puně, tyto mokřady vyloženě opomíjí, nebo se o nich zmiňují jen okrajově. Nedostatečné poznání a ocenění významu těchto mokřadů vede k jejich nedostatečné ochraně. Zejména v posledních letech se tyto relativně pomalu vznikající, křehké mokřady stávají ohrožené vlivy jako je nadměrná pastva, stavba komunikací, kontaminace toxickými látkami z těžby (SALVADOR et al., 2014).

Tato práce měla vytyčený základní cíl zmapovat mokřady v pramenné oblasti Amazonky. Přínos přesného vymezení mokřadů na základě distančních dat spočívá ve schopnosti sledovat, jak tyto mokřady prosperují v průběhu času. Jestli rostou, nebo spíše ubývají a jaký je jejich zdravotní stav. Vzhledem k obtížné dostupnosti míst, kde tyto mokřady jsou, se pro sledování vysokohorských mokřadů And jeví metody dálkového průzkumu jako ideální.

Dalším cílem této práce bylo zhodnotit, jak se některé metody dálkového průzkumu hodí k vymezení mokřadů s *Distichíí*, aby se jednou mohly případně použít k vymezení organozemí/mokřadů v celé oblasti puny. Pramenná oblast Amazonky se jevila pro tento cíl jako ideální oblast, protože byla zmapována v průběhu expedice Hatun Mayu 2000 profesorem Bohumírem Janským a jeho kolegy z katedry Fyzické geografie a geoekologie viz JANSKÝ et al. (2004), kteří v terénu naměřili nejrůznější data. Mezi těmito daty bylo i rozložení jednotlivých půdních typů v oblasti. Protože se vymezení organozemí zde shoduje s vymezením mokřadů, byl záměr tuto vrstvu použít k validaci výsledků. Bohužel se ukázalo, že vrstva organozemí, publikovaná v ŠEFRNA (2004), byla zaměřená pravděpodobně nepřesně. Ať už byla porovnáována se satelitními snímky nebo s Google Earth, byla hranice mokřadů velmi často výrazně posunutá oproti skutečnosti různými směry, viz Obr. 10. Vzhledem k tomu, že letecké snímky použité k vektorizaci, mapy Google Earth, satelitní snímky Landsat a Sentinel-2 se bezchybně překrývaly, předpokládám, že právě tato vrstva organozemí je vymezena chybně. Zcela určitě se nejednalo o chybu, vzniklou špatnými přechody ze souřadnicových systémů, protože hranice mokřadů nebyly posunuty jen jedním směrem (v takovém případě by stačilo pouhé posunutí pomocí georeference), ale různými směry a pokusy tuto vrstvu znovu georeferencovat vedly k výsledkům s ještě větší chybou.

Vzhledem k absenci možnosti ověřit správnost ruční vektorizace v terénu je možné, že se při vektorizaci zaměnily za mokřady i jiné typy vegetace, jako třeba různé traviny s kombinací porostů rodu *Azorella*. Jak je vidět na Obr. 10, byla vektorizace mnohem podrobnější a zaznamenány byly i opravdu drobné mokřady. Jak u ruční vektorizace, tak při měření v terénu se nedá vyloučit, že obzvláště některé menší mokřady byly přehlédnuty.

Jako k alternativě na vrstvu organozemí se přistoupilo k ruční vektorizaci mokřadů na základě leteckých snímků, která následně poslouží k validaci výsledků. Samotná vektorizace takto rozsáhlé oblasti byla časově velmi náročná a nedá se u ní očekávat taková přesnost, jakou by mohlo přinést měření v terénu.

Co se týče rozlohy samostatných mokřadů, Šefrna (2004) tvrdí, že rozloha mokřadů, potažmo organozemí je 5-10 % z celkové zájmové oblasti. Výsledky ukazují, že rozloha mokřadu je na horní hranici tohoto intervalu, nebo ho mírně překonává a pohybuje se mezi 10-12 % rozlohy oblasti. Potvrzuje se tím, že Šefrna (2004) má pravdu, když tvrdí, že Lappalainen (1996) značně podhodnocuje rozlohu organozemí v Peru (100 km²). Zvláště, když se vezme v potaz malá rozloha analyzované oblasti, v porovnání s rozlohou vysokohorských oblastí puny na území Peru. Realističtější se zdá být výměra bofedales v Peru podle INRENA (2002), která činí 917 km². Extrémní je pak výměra, kterou uvádí MINAM (2012), a to 5494 km². Tak velký rozptyl hodnot vypovídá, že každý z badatelů, používá rozdílná kritéria nebo odlišná data a bylo by dobré v dalším výzkumu se věnovat jejich sjednocení.

Kromě spektrálních indexů byly zkoušeny metody řízené a neřízené klasifikace. Z řízených klasifikací byla vyzkoušena klasifikace maximální věrohodnosti (z angličtiny maximum likelihood). Nevýhodou této klasifikace bylo, že výsledná vrstva mokřadů se velmi zásadně lišila v závislosti na vymezení trénovacího datasetu mokřadů. U neřízené klasifikace zase autor neměl jistotu, co mu vyjde. Při některých nastaveních neřízených klasifikací dopadaly výsledky vizuálně slibně. Nicméně se nepodařilo přijít na univerzální postup, který by pro různé snímky (z té samé mise, např. Landstat 8, Sentinel-2) vedl k podobným výsledkům. Tedy postup, který by ostatní výzkumníci mohli využít i pro jiné oblasti puny.

V tomto ohledu se jako nejslibnější metody zdály být spektrální vegetační indexy. Jejich výhoda spočívá zejména v tom, že jsou jednoduše aplikovatelné a dají se provádět

v řadě volně dostupných programů jako je R, Qgis, nebo SNAP. Pro ostatní výzkumníky, zkoumající rozlohu organozemí/mokřadů s *Distichii*, tak představují na rozdíl od jiných metod, jako je například objektová klasifikace, nebo klasifikace za pomoci neuronových sítí, dostupné, lehce aplikovatelné a pochopitelné metody. Další výhodou spektrálních indexů je to, že kromě samotného vymezení mokřadů nám mohou přinést i další informace o stavu mokřadů.

Využití termálních pásem se může zdát pro mapování mokřadů velmi perspektivní. V průběhu dne může teplota na horských plošinách vyšplhat do vysokých hodnot. Vodní plocha spolu s rostlinným pokryvem může v takovém prostředí ochlazovat lokální klima a tím se odlišuje od svého bezprostředního okolí. Nevýhodou je jejich nedostatečné rozlišení, které u Landsatu 5 představovalo 120 metrů a u obou termálních pásem Landsatu 8 představovalo 100 metrů. Snímky při topografické korekci také procházejí převzorkováním pomocí kubické konvoluce, kdy se výsledná hodnota pixelu vypočítává z 16 nejbližších pixelů. Řada mokřadů je značně protáhlá a v jejich nejužších místech by takové rozlišení bylo naprosto nedostatečné. Další komplikaci by mohly představovat sníh a ledovce, které také teploty ve svém nejbližším okolí snižují, podobně jako mokřady.

Původně se předpokládalo zpracování snímků Landsatu 8 s již provedenými atmosférickými korekcemi. Rozlišení pásem, která se měla použít (4, 5, 6 a 7) bylo 30 metrů. Komplikací se ukázaly být zastíněné svahy na jižním úpatí hory Mamanca. Jejich DN hodnoty v některých pásmech byly záporné, což zavinila nejspíše atmosférická korekce LaSRC. Tyto záporné hodnoty se jindy objevují například pod stíny mraků. Jejich efektem bylo, že některé spektrální indexy dosahovaly hodnot vyšších anebo naopak nižších, než je teoreticky možné.

V průběhu psaní této práce se zpřístupnily snímky s již provedenými atmosférickými korekcemi z mise Sentinel-2, které jsou také volně dostupné na internetu. Tyto snímky mají lepší prostorové rozlišení spektrálních pásem, než je tomu u Landsatu 8. Bylo tedy možné mapovat mokřady až v rozlišení 10 metrů. Také se zde neobjevovaly žádné záporné DN hodnoty. Z tohoto důvodu se nakonec přešlo na snímky z této družice.

Použitý spektrální index NDVI je dnes již považován v mnoha ohledech za překonaný a některé práce jako například ŠTYCH et al. (2018) ukazují oblasti, kde selhává. Je však široce rozšířený, představuje v oblasti dálkového průzkumu základní znalost a jeho aplikace je velmi jednoduchá. V podmínkách puny se nicméně zdá být dostačujícím,

protože puna má mimo mokřady v období zimy jen velmi řídkou rostlinnou pokrývku, takže tento index, který je vztažený k obsahu chlorofylu na ploše, by měl podávat uspokojující výsledky.

Prahová hodnota pro rozeznávání mokřadů ($NDVI = 0,36$) se neshoduje s údajem uvedeným v MAZZARINO (2014), který použil jako prahovou hodnotu $0,30$ NDVI. Na rozdíl od této práce pracoval se snímky Landsat 5 a jednalo se o průměrné hodnoty NDVI z 20 snímků pořízených v průběhu 25 let.

U indexu NDMI byla možnost vyzkoušet obě krátká infračervená pásma. Při vizuálním srovnání výsledků se zdálo, že pásmo 12 je vhodnější než pásmo 11, protože podávalo kompaktnější výsledky. U NDMI s použitým pásmem 11 výsledek působil, že je z části ovlivněn šumem. Zároveň zde byly mnohem podobnější hodnoty sněhu a ledovců mokřadům, než u pásma 12.

Při budoucím zkoumání mokřadů by bylo dobré aplikovat, nebo vymyslet takový index, který by využíval pásmo z červené, blízké infračervené a krátké infračervené části spektra elektromagnetického záření. Tedy takový index, který by byl závislý na obsahu chlorofylu a vody v rostlinách zároveň, protože jak se ukazuje, použité indexy v této práci mají své limity.

Spolu s problémem nalezení prahové hodnoty pro mokřady souvisí rozsáhlé ekotony mokřadů a jejich okolí. Do budoucna by tak pro mapování mokřadů mohla být velmi úspěšně použita sub-pixelová klasifikace, která by pro každý jeden analyzovaný pixel vyjádřila, jak velkou část jeho plochy tvoří mokřady a jak velkou část tvoří okolí.

Velmi slibnými se jeví pro dálkový průzkum bofedales radarová data. Ta mají ohromnou výhodu v tom, že se dají pořizovat i v hlavní vegetační sezóně, protože dokážou snímat zemský povrch i v případě, že je oblačno. MOREAU (2002) prokázal, že se pomocí radarových dat dá kvantifikovat množství biomasy v mokřadech. To by mělo podle něj lépe naplánovat management těchto mokřadů a i jejich lepší ochranu. Pro rozeznání mokřadů v rovinné ploše by radar mohl být nejlepším nástrojem, protože vegetace a vodní plocha odráží radarové záření zcela jinak, než holý povrch. Mé pokusy s daty z mise Sentinel-1 selhaly, kvůli značnému vlivu reliéfu a to i přesto, že jsem provedl topografickou korekci. Nejspíše na tom neslo vinu z určité části zastínění a několikanásobné odrazy.

Mohlo by i být zajímavé zjistit, jak se hodnoty vegetačních indexů u mokřadů mění v průběhu ročního cyklu, případně jak se mění v průběhu let. K tomuto účelu jsou k dispozici dostatečně dlouhé, normalizované, časové řady družicových snímků. Za účelem optimalizace pastvy se již pokoušel MOREAU (2003) kvantifikovat množství biomasy pomocí dat AVHRR a indexem NDVI. Tato data ale podle mě měla příliš velké rozlišení a to 1 km na pixel.

Neméně zajímavé by potom bylo hodnoty vegetačních indexů z časových řad porovnat s atmosférickými jevy, jako jsou srážky, teploty, intenzita slunečního záření a jiné. Zda mají nebo naopak nemají vliv na zdravotní stav, rozrůstání, nebo naopak zanikání mokřadů s *Distichii*. Tím by se mohl odhalit i případný dopad globální klimatické změny na tento křehký ekosystém. Pro tyto účely bylo v této práci ukázáno, že dostupný zdroj časový řad srážek v oblasti existuje a jedná se o webový portál Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Časová řada sice není úplná, ale jedná se o denní záznamy, takže pro řadu snímků by mohla přinést informace o úhrnech srážek v obdobích, kdy byl snímek pořízen. Z tohoto zdroje naměřených srážek by mohlo být vhodné spočítat průměrné srážky v oblasti. To by mohlo pomoci lépe určit klasifikaci puny celé oblasti. To, co v tomto zdroji může představovat velký problém při výpočtu ročního úhrnu srážek, jsou krátká časová období, za která se zaznamenávaly tyto úhrny. Měřit se mohlo zrovna v nadměrně suchých nebo naopak vlhkých rocích, ovlivněných například jevem El Niño, La Niña atd. a je otázkou, zda mohou zastoupit kontinuální měření.

Lepší přehled o průměrných srážkách v oblasti by mohly z těchto dat získat geostatistické metody, které by pro konkrétní lokalitu zpracovávaly údaje stanic ze širšího okolí. Aby stanice, které byly v chodu například jen jeden rok, neměly větší váhu než stanice měřící více let, mohl by se za každý rok, který stanice měřila, vytvořit bod, ten by kromě polohy stanice s sebou nesl i informaci o konkrétním ročním úhrnu srážek. Takže by se tyto body překrývaly tolikrát, kolik let se na daném místě měřilo. Nugget effect zajistí, že extrémní hodnoty v oblasti (způsobené například mimořádně suchým/vlhkým rokem) budou shlazený.

7 Závěr

Vzhledem k tomu, co pro místní pastevce tyto mokřady představují, a stejně tak neméně důležitému významu pro místní přírodu, rešerše prokázala, že hlubší poznání, stejně jako mapování těchto mokřadů, má ohromný význam.

Vyzkoušené spektrální vegetační indexy se ukázaly být účinným nástrojem rozpoznávání místních mokřadů. Jako vhodnější metoda se jeví aplikace NDVI s prahovou hodnotou, protože je jednodušší, než její kombinování s prahovou hodnotou NDMI. Pomocí kombinace prahových hodnot NDVI a NDMI se sice vybral vyšší podíl pixelů, které byly vymezeny zároveň pomocí metody ruční vektorizace, na druhou stranu byl takto vymezen vyšší podíl pixelů, které nebyly jako mokřady ruční vektorizací rozpoznány. Je možné, že při použití lepších prahových hodnot, by se tyto ukazatele zlepšily, nicméně výsledky ruční vektorizace nejsou ideálním zdrojem validace výsledků. Další důvod, proč využívat samotný index NDVI k rozeznávání mokřadů, je ten, že má lepší prostorové rozlišení, pokud se používají snímky z družice Sentinel-2, než u kombinace indexů NDVI a NDMI.

8 Bibliografie

- ACREMAN, M., C., Hydrological science and wetland restoration: some case studies from Europe. *Hydrology & Earth System Sciences*. 2007, 11: 158-169
- ARROYO, Mary TK, CAVIERES, Lohengrin A. HIGH-ELEVATION ANDEAN ECOSYSTEMS. *Encyclopedia of Biodiversity*. 2013, 4: 96-111
- BAIED, Carlos A., WHEELER, Jane C. EVOLUTION OF HIGH ANDEAN PUNA ECOSYSTEMS: ENVIROMENT, CLIMATE, AND AGRICULTURE CHANGE OVER THE LAST 12 000 YEARS. *Mountain Research and Developmnet*. 1993, 13: 145-156
- BOSMAN, A. F., van der MOLEN, P. C., YOUNG, R., CLEEF, A. M. Ecology of a paramo cushion mire. *Journal of Vegetation Science*. 1993, 4: 633-640
- CIBULA, W. G., ZETKA, E. F., RICKMAN, D. L. Response of thematic mapper bands to plant water stress. *International Journal of Remote Sensing*. 1992, 13: 1869-1880
- KOLÁŘ, Filip, et al. Rostliny zpod vrcholů rovníkových And 3. Adaptivní radiace a bohatství růstových forem v páramu. *ŽIVA*. 2011, 3, 115-118.
- ENGEL, Zbyněk. Glaciation in the Cordillera Chila, Peru. *ACTA UNIVERSITATIS CAROLINAE GEOGRAPHICA*. 2001, 2, 63- 80.
- ENGEL, Zbyněk, SKRZYPEK, Grzegorz, CHUMAN, Tomáš, ŠEFRNA, Luděk Climate in the Western Cordillera of the Central Andes over the last 4300 years. *Quaternary Science Reviews*. 2014, 99: 60-77.
- FONKÉN, M.S. Maldonado. An introduction to the bofedales of the Peruvian High Andes. *Mires and Peat*, 2015.15: 1-13.
- CHANGMING ZHU et al. Wetland mapping in the Balqash Lake Basin Using Multi-source Remote Sensing Data and Topographic features Synergic Retrieval. *2011 3rd International Conference on Environmental Science and Information Application Technology (ESIAT 2011)*, 2718 – 2724
- INRENA. *National Strategy for Wetland Conservation in Peru*. Programa De Conservación Y Desarrollo Sostenido De Humedales, Instituto Nacional de Recursos Naturales, Lima 1996.
- JANSKÝ, Bohumír et al. *K pramenům Amazonky*. České vyd. 1. Praha: Ottovo nakladatelství v divizi Cesty, 2004. 248 s. ISBN 80-7181-125-4.

- LAPPALAINEN, Eino. *Global peat resources*. Michigan university: International Peat Society, 1996. 359 s., ISBN 9529074875.
- LAŠTOVIČKA, Josef. *HODNOCENÍ ČASOVÝCH ŘAD DRUŽICOVÝCH SNÍMKŮ K POZOROVÁNÍ DISTURBANCÍ V OBLASTI NÍZKÝCH TATER*, Univerzita Karlova v Praze, diplomová práce (2016).
- MINAM. Memoria Descriptiva del Mapa de Cobertura Vegetal del Perú. Ministerio del Ambiente (MINAM), Lima 2012. 76 s.
- MOLINA, Eduardo G., LITTLE, Adrienne. GEOECOLOGY OF THE ANDES, THE NATURAL SCIENCE BASIS FOR RESEARCH PLANNING. *Mountain Research and Development* (1981), 2: 115-144.
- MOREAU, Sophie, TOAN, Thuy, Le. Biomass quantification of Andean wetland forages using ERS satellite SAR data for optimizing livestock management. *Remote Sensing of Environment* (2002). 84: 477–492
- MOREAU, Sophie, BOSSENANO, Roland, GU, Xing Fa, BARET, Frédéric. Assessing biomass dynamics of Andean *Bofedal* and *titora* high-protein wetland grasses from NOAA/AVHRR. *Remote Sensing of Environment* (2003). 85: 516-529.
- MORLON, Pierre. *Comprender la agricultura campesina en los Andes Centrales*. IFEA, Lima, 1996. 495 s., ISBN 9782821845350
- MAZZARINO, Meagan M., *ENVIRONMENTAL CHANGE AND THE AGRO-PASTORALIST LIVELIHOOD IN THE ANDES OF PERU*. University of Massachusetts – Amherst, disertační práce (2014).
- ROUSE, J., W., HAAS, R., H., SCHNELL, J., A., DEERING, D., W. MONITORING VEGETATION SYSTEMS IN THE GREAT PLAINS WITH ERTS. *THIRD EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM. Volume I: Technical Presentations Section A* (1973). 1: 309-317.
- RUTHSATZ, Barbara. Vegetación y ecología de los bofedales altoandinos de Bolivia. *Phytocoenologia* (2012). 42: 133 – 179.
- SALVADOR, F., MONERRIS, J., ROCHEFORT, L. Peatlands of the Peruvian Puna ecoregion: types, characteristics and disturbance. *Mires and Peat* (2014). 15: 1-17.
- SQUEO, Francisco A., WARNER, Barry G., ARAVENA, Ramón, ESPINOZA, Diana. Bofedales. High Altitude Peatlands of the Central Andes. *Revista Chilena de Historia Natural* (2006), 79: 245-255.

- SKRZYPEK, Grzegorz, ENGEL, Zbyněk, CHUMAN, Tomáš, ŠEFRNA, Luděk. *Distichia* peat – A new stable isotope paleoclimate proxy for the Andes. *Earth and Planetary Science letters* (2011). 307: 298-308.
- SIMPSON, Beryl B. An Historical Phytogeography of the High Andean Flora. In: *Revista Chilena de Historia Natural* (1983). 56: 109-122
- ŠEFRNA, Luděk. Půdy a biosféra pramenné oblasti Amazonky. In: Janský B. a kol.: *K pramenům Amazonky*. Praha: Ottovo nakladatelství v divizi Cesty, 2004. s. 196-207. ISBN 80-7181-125-4.
- ŠTYCH, Přemysl, et al. EVALUATION OF THE INFLUENCE OF DISTURBANCES ON FOREST VEGETATION USING THE TIME SERIES OF LANDSAT DATA: A COMPARISON STUDY OF THE LOW TATRAS AND SUMAVA NATIONAL PARKS. *GIS Ostrava 2018 – GIS for Safety & Security Management* (2018).
- University of Illinois. Economic Consequences of El Niño. [online]. *The weather world 2010 project*. [cit. 1.5.2018]. Dostupné z: [http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/mtr/elN/econ.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/mtr/elN/econ.rxml)
- USGS. *PRODUCT GUIDE - LANDSAT 8 SURFACE REFLECTANCE CODE (LASRC) PRODUCT* [online], 2018 a. [cit. 20.3.2018]. Dostupné z: https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/lasrc_product_guide.pdf
- USGS. *NDVI, the Foundation for Remote Sensing Phenology* [online], 2018 b. Dostupné z: https://phenology.cr.usgs.gov/ndvi_foundation.php
- WEBERBAUER, August. *Die Pflanzenwelt der peruanischen Anden*. Lipsko: vydal Wilhelm Engelmann, 2011. Dostupné z: https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/lasrc_product_guide.pdf
- WILLIAMS, Richard S. *Peruvian Cordilleras*. [online]. USGS. 1999 [cit. 13.3.2016]. Dostupné z: <http://pubs.usgs.gov/pp/p1386i/peru/occident.html>