

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS
CENTRO DE ESTUDOS E PESQUISAS EM AGRONEGÓCIOS - CEPAN
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONEGÓCIOS

NOELIA SOLEDAD BEDOYA PERALES

**O *BOOM* DO CONSUMO E DA PRODUÇÃO DE QUINOA (*Chenopodium quinoa*
Willd.): UMA ANÁLISE DAS MUDANÇAS NO USO DA TERRA NO PERU**

Porto Alegre, RS, Brasil

2016

Noelia Soledad Bedoya Perales

**O *BOOM* DO CONSUMO E DA PRODUÇÃO DE QUINOA (*Chenopodium quinoa*
Willd.): UMA ANÁLISE DAS MUDANÇAS NO USO DA TERRA NO PERU**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de **Doutora em Agronegócios**.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Domingos Padula

Coorientador: Prof. Dr. Edson Talamini

Porto Alegre, RS, Brasil

2016

CIP - Catalogação na Publicação

Bedoya Perales, Noelia Soledad
O BOOM DO CONSUMO E DA PRODUÇÃO DE QUINOA
(Chenopodium quinoa Willd.): UMA ANÁLISE DAS
MUDANÇAS NO USO DA TERRA NO PERU / Noelia Soledad
Bedoya Perales. -- 2016.
102 f.

Orientador: Antonio Domingos Padula.
Coorientador: Edson Talamini.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio
Grande do Sul, Centro de Estudos e Pesquisas em
Agronegócios, Programa de Pós-Graduação em Agronegócios,
Porto Alegre, BR-RS, 2016.

1. Mudanças no uso da terra. 2. Competição pelo uso
da terra. 3. Agrobiodiversidade. 4. Comércio
internacional. I. Domingos Padula, Antonio , orient.
II. Talamini, Edson, coorient. III. Título.

NOELIA SOLEDAD BEDOYA PERALES

**O BOOM DO CONSUMO E DA PRODUÇÃO DE QUINOA (*Chenopodium quinoa*
Willd.): UMA ANÁLISE DAS MUDANÇAS NO USO DA TERRA NO PERU**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronegócios da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Agronegócios**.

Data da Defesa e Aprovação: 03/08/2016

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Antonio Domingos Padula
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS
Programa de Pós-Graduação em Agronegócios
(Orientador)

Prof. Dr. Edson Talamini
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS
Programa de Pós-Graduação em Agronegócios
(Coorientador)

Prof. Dr. Luis Felipe Machado do Nascimento
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS
Programa de Pós-Graduação em Administração

Prof. Dr. Glauco Schultz
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL - UFRGS
Programa de Pós-Graduação em Agronegócios

Profa. Dra. Luciana Marques Vieira
UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DO SINOS - UNISINOS
Programa de Pós-Graduação em Administração

AGRADECIMENTOS

Ao Brasil, país que me acolhe;

Ao Centro de Estudos e Pesquisas em Agronegócios – CEPAN, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, por me proporcionar a oportunidade de realizar o curso de doutorado;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de pós-graduação, modalidade PEC PG, N° processo 5898-11-0; e por viabilizar minha participação em eventos científicos internacionais;

Ao Prof. Dr. Antonio D. Padula, pelo exemplo profissional, pelo valioso apoio como orientador e por possibilitar a vivência de gratas experiências, tanto no aspecto acadêmico quanto pessoal;

Ao Prof. Dr. Edson Talamini, pela ajuda imprescindível no decorrer do doutorado e pela amizade;

Ao Prof. Dr. Guilherme Pumi, pelo tempo disponibilizado, apoio permanente e por contribuir nesta investigação;

Ao Prof. Dr. Angel Mujica, da UNA-Puno-Peru, por compartilhar comigo os conhecimentos da sua longa e rica trajetória em estudos dos cultivos Andinos;

Ao Eng. Abel Humpire, do Instituto Nacional de Inovação Agraria do Peru (INIA-Arequipa), pelas informações prestadas e pela disposição para discutir esta pesquisa;

Aos professores membros da banca examinadora da defesa desta tese, tanto do projeto preliminar quanto da versão final, pela disponibilidade e contribuições feitas: Prof. Dr. Sergio Schneider; Profa^a Dr^a Fabiana Thomé da Cruz, Prof. Dr. Glauco Schultz, Profa^a Dr^a Luciana M. Vieira e Prof. Dr. Luis Felipe Nascimento;

Ao Prof. Dr. Homero Dewes, pelo precioso incentivo e frutuosas conversas;

Ao Prof. Dr. Julho Barcellos, pela sua colaboração na fase inicial do doutorado;

À Debora Azevedo, secretária do PPG Agronegócios, pela simpatia e serviços prestados durante todo o curso;

À minha bela família, por estar sempre ao meu lado;

Ao Simon Champagne, por participar desta história trazendo motivação e alegria, e também pela forma de abrir caminhos que me trazem inspiração;

Por fim, minha gratidão a todos os amigos que me cativam, me ensinam e me acompanham, de perto e de longe, nessa trajetória enriquecedora do doutorado.

A todos, muito obrigada!

O BOOM DO CONSUMO E DA PRODUÇÃO DE QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd.): UMA ANÁLISE DAS MUDANÇAS NO USO DA TERRA NO PERU

RESUMO

O *boom* do consumo e da produção de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) é um fenômeno recente que representa a transição de um cultivo andino negligenciado e subutilizado durante séculos para um supercultivo moderno do século XXI, dado o seu aporte nutricional. Nesse sentido, a presente tese apresenta e discute questões que o *boom* da quinoa suscita acerca das tendências das mudanças no uso da terra no Peru — país que se tornou o maior produtor e exportador mundial do produto a partir de 2014. Para o desenvolvimento da pesquisa realizaram-se dois estudos. O primeiro deles objetivou analisar a dinâmica da expansão do cultivo de quinoa e identificar as mudanças no uso da terra resultantes do *boom* da quinoa, assim como determinar se tais mudanças ameaçam a agrobiodiversidade na principal região produtora de quinoa: Puno. O segundo estudo buscou calcular o impacto do *boom* da quinoa na expansão do seu cultivo, em termos de área ocupada, além de discutir os mecanismos pelos quais a expansão da demanda internacional por este produto ocasiona mudanças no uso da terra no Peru. Ambos os estudos se basearam em dados disponibilizados por entidades e órgãos oficiais do Peru, os quais foram coletados separadamente para as 18 regiões produtoras de quinoa, no período de 1995-2014. Para a análise dos dados, construíram-se mapas temáticos com as variáveis: área cultivada e variação porcentual anual de área cultivada. Também foram utilizadas as seguintes técnicas estatísticas: estatística descritiva, Análise de Componentes Principais (PCA) e *exponential smoothing*. Os resultados evidenciaram que o *boom* da quinoa no Peru começou em 2009, sendo que, a partir desse ano, a configuração da área cultivada com quinoa foi alterada drasticamente. Já no ano de 2014, inicia-se um período de expansão sem precedentes na história de sua produção. Cabe destacar, nesse sentido, que se o *boom* da quinoa não tivesse ocorrido, no ano de 2014 teria sido cultivada uma área 43% menor de quinoa do que foi efetivamente observado. A partir disso, foram constatados três fenômenos: (i) a evolução de uma nova geografia da produção de quinoa; (ii) a redução do uso de práticas agrícolas tradicionais (p.ex.: rotação de cultivos, descanso do solo) decorrente da intensificação da produção de quinoa; e (iii) a tendência de competição pelo uso da terra para produção de cultivos Andinos na região Puno (cañigua, mashua, oca e tarhui). Dessa forma, a expansão do mercado internacional de quinoa a partir de 2008 já começa a revelar suas consequências sobre as mudanças no uso da terra no Peru: (i) efeito de deslocamento (migração de atividades de um lugar para outro de uma maneira a ocasionar mudanças no uso da terra em novas localidades), (ii) efeito rebote (mudanças no uso da terra com as medidas adotadas para incrementar a eficiência da produção e aumento do número de empresas atuando no setor), e (iii) efeito cascata (perturbações que afetam o sistema terrestre em decorrência da substituição de áreas destinadas à produção de outros cultivos em condições agroecológicas específicas). Ao trazer uma perspectiva sobre a relação entre a intensificação do comércio internacional da quinoa e a expansão de terra cultivada no Peru, este trabalho contribui para a literatura, ainda em construção, sobre consequências das mudanças no uso da terra na sustentabilidade dos sistemas agrobiológicos.

Palavras-chave: Mudanças no uso da terra, Competição pelo uso da terra, Sustentabilidade, Práticas agrícolas, Agrobiodiversidade, Cultivos andinos, Comércio internacional.

THE BOOM IN CONSUMPTION AND PRODUCTION OF QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd.): AN ANALYSIS OF LAND USE CHANGES IN PERU

ABSTRACT

The boom in consumption and production of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is a recent phenomenon that represents the transition from a neglected and underutilized Andean crop for centuries to a modern supercrop of the 21st century due to its exceptional nutritional value. In this context, the present thesis presents and discusses issues raised as a result of the quinoa boom regarding trends in land-use change in Peru, which, as from 2014, has become the world's largest producer of quinoa. Therefore, two studies were carried out. The first study aimed to analyze the dynamics of the expansion of quinoa cultivation and to identify land use changes resulting from the quinoa boom, as well as to determine whether such changes threaten agrobiodiversity in the major quinoa producing region: Puno. The second study aimed to calculate the impact of the quinoa boom on the expansion of quinoa production in terms of cultivated area, and to discuss the mechanisms by which the growing international demand for this product causes land use changes in Peru. Both studies are based on data available from official sources. Data were collected separately for the quinoa producing regions, 18 in total. It covers the period from 1995 to 2014. Data were analyzed using thematic maps with the following variables: harvested area and annual variation in the percentage of harvested area. There were also used the following statistical techniques: descriptive statistics, Principal Component Analysis (PCA) and exponential smoothing. The findings showed that the quinoa boom in Peru began in 2009. From this year, the configuration of the area cultivated with quinoa has changed drastically, but the year 2014 marked the beginning of an unprecedented period in the history of the production of this crop. In this regard, it should be noted that if it had not occurred the quinoa boom, the area cultivated with quinoa in 2014 would have been 43% less than the observed quantity. From this, it was found three phenomena: (i) the evolution of the new geography of quinoa production in Peru; (ii) the diminished use of traditional farming practices (eg.: crop rotation with rest for the soil) due to the intensification of quinoa production; and (iii) the trend towards increased land use competition for Andean crop production in the Puno region (cañigua, mashua, oca e tarhui). Thus, the growing international quinoa trade since 2008 has started to reveal the consequences of land use changes in Peru: (i) displacement effect (migration of activities from one place to another, causing land use changes in new locations); (ii) rebound effect (land use changes in response to the measures introduced to improve production efficiency and the increase in the number of companies operating in the sector); and (iii) cascade effect (disorders that affect the land system as a result of the substitution of land area used to produce other crops in specific agro-ecological conditions). With the perspective on the link between the intensification of international trade of quinoa and the expansion of cultivated land in Peru, this study contributes to the literature by providing insights into the consequences of land use changes on the sustainability of agrobiological systems.

Keywords: Land use changes, Land use competition, Sustainability, Agricultural practices, Agrobiodiversity, Andean crops, International trade.

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1 — Figura ilustrativa destacando as zonas agroecológicas potenciais de produção de quinoa no Peru.....	28
 CHAPTER II: The quinoa boom: will land competition threaten sustainability in one of the cradles of agriculture?	
Figure 1 — The evolution of the new geography of quinoa production in Peru (1995-2014)	45
Figure 2 — The expansion of quinoa production in Peru has accompanied a shift away from traditional farming practices (1995-2014).....	48
Figure 3 — The evidence indicating a trend towards increased competition for land use in Andean crop production on the Peruvian Andean Plateau	51
 CHAPTER III: The expansion of quinoa production and the intensification of land-use competition in Peru: implications for land-use management	
Figure 1 — Map of Peru showing the studied areas and potential agro-ecological zones for quinoa farming.....	72
Figure 2 — Principal component analysis (PCA) applied to the acreage and exported quantity of quinoa in Peru by year.....	74
Figure 3 — Export volumes and prices of Peruvian quinoa and the price paid to the farmer (1995-2014).....	76
Figure 4 — The observed expansion of the acreage of quinoa vs. the predicted expansion in the traditional producing regions (TPRs) of Peru (1995-2014).....	79

LISTA DE TABELAS

	Página
CHAPTER III: The expansion of quinoa production and the intensification of land-use competition in Peru: implications for land-use management	
Table 1 — Change in the expansion rate of the acreage, yield and market share, by period, in traditional quinoa farming regions in Peru.....	81

LISTA DE QUADROS

	Página
Quadro 1 — Espécies andinas de grãos, tubérculos, leguminosas e raízes alimentícias negligenciadas no século XX.....	24
Quadro 2 — Etapas desenvolvidas na pesquisa e técnicas de análise de dados.....	38

LISTA DE ANEXOS

		Página
CHAPTER II: The quinoa boom: will land competition threaten sustainability in one of the cradles of agriculture?		
Supplementary Figure 1 (a-c)	The expansion of quinoa production in Peru by hectares (1995-2014).....	61
Supplementary Figure 2 (a-c)	Annual variation in the percentage of harvested area in Peru (1995-2014)	64
Supplementary Table 1	Mean variation in the percentages of harvested production and harvested area of Andean Crops in the Peruvian Andean Plateau.....	67

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AIQ	Ano Internacional da Quinoa
AIS	Ano Internacional dos Solos
AVPHA	Annual variation in the percentage of harvested area
OEEE- MINAGRI	The Office of Economic and Statistical Studies of the Peruvian Ministry of Agriculture and Irrigation [<i>Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos del Ministerio de Agricultura y Riego del Perú</i>]
OER	Observed expansion rate
PCA	Análise de Componentes Principais
PER	Predicted expansion rate
SIICEX	The Integrated Information System on Foreign Trade [<i>Sistema Integrado de Información de Comercio Exterior</i>]

SUMÁRIO

Página

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE QUADROS

LISTA DE ANEXOS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPÍTULO I

1	INTRODUÇÃO.....	16
2	PROBLEMATIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	17
3	OBJETIVOS E ESTRUTURA DA TESE.....	20
3.1	OBJETIVO GERAL.....	20
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	20
3.3.	ESTRUTURA DA TESE.....	21
4	REFERENCIAL TEÓRICO.....	21
4.1	OS PRODUTOS NEGLIGENCIADOS DO PERU E OS SISTEMAS AGRÁRIOS EM UM CONTEXTO HISTÓRICO.....	22
4.2	OS SISTEMAS DE PRODUÇÃO DE QUINOA NO PERU NO SÉCULO XXI: ASPECTOS GERAIS.....	26
4.2.1	Descrição botânica e agronômica.....	26
4.2.2	Conteúdo nutricional.....	26
4.2.3	Classificação agroecológica da quinoa.....	
4.2.4	Zonas agroecológicas potenciais de produção de quinoa.....	27
4.3	USO DA TERRA.....	28

4.3.1	Causas e mecanismos de mudanças no uso da terra.....	29
4.3.2	Uso da terra, funções e serviços ecossistêmicos.....	31
4.3.3	Uso da terra e agrobiodiversidade.....	34
5	ASPECTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA.....	36
5.1	PERÍODO DE ANÁLISE.....	36
5.2	REGIÕES DE ESTUDO.....	37
5.3	DADOS UTILIZADOS E FONTES.....	37
5.4	ANÁLISE DE DADOS.....	37
 CHAPTER II: The quinoa boom: will land competition threaten sustainability in one of the cradles of agriculture?.....		39
Abstract.....		40
1.	Introduction.....	41
2.	Material and Methods.....	42
2.1	Data sources.....	42
2.2	Data analysis.....	43
3.	Results and Discussion.....	44
3.1	The evolution of the new geography of quinoa production in Peru in the 21st century.....	44
3.2	Transformations of farming practices – from polyculture to monoculture.....	46
3.3	Trend towards increased land use competition for Andean crop production..	49
4.	Concluding Remarks.....	51
5.	Supplementary Materials.....	53
Acknowledgements.....		
References.....		54
Appendices.....		58

CHAPTER III: The expansion of quinoa production and the intensification of land-use competition in Peru: implications for land-use management.....	68
Abstract.....	69
1. Introduction.....	70
2. Methodology.....	71
2.1 Data collection.....	71
2.2 Data analysis.....	73
3. Results and Discussion.....	74
3.1 A temporal analysis of the quinoa production in Peru in response to global demand.....	74
3.2 Quinoa expansion in Peru and its implications in land-use.....	78
4. Concluding Remarks.....	85
References.....	86
5. CONCLUSÃO.....	93
REFERÊNCIAS.....	94

1. INTRODUÇÃO

Um evento crucial na história da alimentação da humanidade foi a chegada de Cristóvão Colombo às Américas. O processo de ocupação, colonização e comércio com as novas terras permitiu que alimentos que haviam estado isolados em continentes desconectados até então comessem a circular ao redor do mundo, iniciando assim uma transformação de tradições, costumes, estilos de vida e hábitos alimentares das populações.

Os desbravadores que se seguiram a Colombo descobriram e difundiram uma diversidade de produtos de origem vegetal consumidos pelos nativos daquelas novas terras até então desconhecidas pelas sociedades europeias. Do Sul do México aos Andes peruanos e ao médio Mississipi, as novas terras revelaram-se um celeiro de novos produtos alimentares já manipulados e domesticados pelos povos do Neolítico que ali habitaram, dentre os quais pode-se destacar os seguintes: milho, batata, mandioca, feijão, tomate, abóbora, girassol (Mazoyer e Roudart, 2006a). A forte aceitação desses novos produtos pela sociedade europeia criou o que se poderia chamar de um *hype* alimentar para a época.

Se recuarmos no tempo, na história documentada da agricultura na América, a região dos Andes peruanos figura como um dos centros de origem da agricultura neolítica, que emergiu de forma independente há pelo menos 6000 anos antes da presente Era (Mazoyer e Roudart, 2006a), embora haja conhecimento de que o cultivo de plantas pelo homem começou há cerca de 10000 anos atrás (Dillehay *et al.*, 2005; Dillehay *et al.*, 2007; Piperno, 2011). Distintas culturas no Peru Antigo aprenderam a manipular plantas e, ao longo de um processo de experimentação, conseguiram com êxito domesticá-las em territórios com características topográficas e climáticas complexas. Todo esse conhecimento sobre o manejo de plantas foi transmitido durante milênios e adaptado durante a época do domínio do Império Inca, entre os séculos XV e XVI.

Nos 500 anos que se seguiram às descobertas de Colombo, com a chegada de produtos herdados da agricultura do antigo Crescente Fértil, como cevada e trigo, desencadeou-se uma competição pelo uso da terra, levando a uma redução dramática da produção de cultivos locais e expansão das commodities agrícolas hoje comumente conhecidas (Defries *et al.*, 2015), acentuada pelas novas formas de comércio e pela construção de sociedades cada vez mais modernas. Anonimamente, um grande legado seria deixado pela milenar cultura Andina para

o mundo do século XXI, quando os consumidores conduzem um novo padrão de produção de alimentos por meio de suas mudanças de preferências e de hábitos alimentares em prol da saúde. Eis que o Peru surge novamente como região de interesse desses consumidores, especialmente os dos países desenvolvidos, por cultivar um produto alimentício de excepcional valor nutricional: a quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.).

2. PROBLEMATIZAÇÃO E JUSTIFICATIVA

A quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) pode ser considerada, nos dias de hoje, um supercultivo moderno, pois possui propriedades nutricionais excepcionais, destacando-se o conteúdo proteico (Repo-Carrasco *et al.*, 2003; Abugoch, 2009; Nowak *et al.*, 2015); tanto é assim que o ano de 2013 foi declarado como o “Ano Internacional da Quinoa” (AIQ) pelas Nações Unidas. O propósito da denominação foi apresentar o potencial desse cultivo para a segurança alimentar do mundo. Dessa forma, a quinoa passou a ser símbolo da revalorização das espécies negligenciadas e subutilizadas (*Neglected and Underutilized Species* – NUS, na sigla em inglês).

Em decorrência do AIQ, foi publicado o maior compêndio de estudos sobre a quinoa em nível mundial. Esse trabalho — intitulado “*O Estado da Arte da Quinoa no Mundo em 2013*” (FAO e CIRAD, 2015) — apresenta distintos temas que são agrupados de acordo com os seguintes aspectos: botânicos e de domesticação; agrônômicos e ecológicos; técnicos e nutricionais; sociais e econômicos; cultivo nos Países Andinos; e sua difusão atual na América do Norte, no Brasil e vários Países da Europa, Ásia e África. Entretanto, os impactos do *boom* da demanda internacional por quinoa e suas implicações no uso da terra para os principais países produtores — o Peru e a Bolívia — têm sido pouco documentados, apesar das controvérsias existentes na literatura sobre a sustentabilidade da produção de quinoa, decorrentes da sua difusão mundial (Jacobsen, 2011; 2012; Winkel *et al.*, 2012).

Em grande parte, o pouco que se conhece até agora está relacionado aos estudos realizados na Bolívia, onde a intensificação da produção de quinoa gera preocupações sobre a degradação dos solos, e também sobre o comprometimento das bases ecológicas e sociais do agrossistema, no qual o pequeno agricultor reivindica as raízes e seu conhecimento ancestral.

Essas razões permitem situar o Peru na mesma problemática, especialmente porque o país se tornou o principal produtor de quinoa e seu maior exportador desde 2014, respondendo por cerca de 60% da oferta mundial (FAOSTAT, 2016). É nesse contexto, portanto, que o presente estudo procura discutir questões que o *boom* da quinoa suscita acerca das tendências na transformação do uso da terra no Peru e as suas implicações.

Grosso modo, as regiões tradicionalmente produtoras de quinoa no Peru encontram-se no Altiplano e nos Vales Interandinos (ver Figura 1). O Altiplano é a maior região produtora de quinoa do país, sendo que as áreas de cultivo atingem altitudes de 4000 msnm. Já os Vales Interandinos compreendem áreas entre 2600 e 3500 msnm. Em ambas as zonas, a quinoa prosperou graças às práticas agrícolas, baseadas em sistemas de rotação e/ou associação de cultivos e escasso uso de insumos químicos. Hoje em dia, com o incremento da demanda por quinoa, o cultivo se estendeu até regiões da Costa. Nessa zona em expansão, as práticas agrícolas mais adequadas para a produção de quinoa encontram-se ainda em fase de experimentação, mas sabe-se que os rendimentos obtidos por hectare são mais altos do que nas zonas tradicionalmente produtoras.

No final do ano 2015, o Instituto Interamericano de Cooperação para a Agricultura – IICA (IICA, 2015) apresentou um estudo sobre a situação do mercado e a produção de quinoa no Peru. A partir das informações fornecidas pelos produtores das atuais duas maiores regiões produtoras, Puno e Arequipa, foram identificadas algumas “práticas inadequadas” que poderiam impactar negativamente no ambiente, tais como: o incremento do uso de agroquímicos e pesticidas; a maior mecanização do cultivo em solos muito frágeis das zonas secas do Altiplano, ocasionando a degradação e diminuição de rendimentos; a falta de rotação de cultivos e de pousio; entre outros. A partir dessas constatações, foi sugerido que as práticas agrícolas tradicionais estariam se perdendo a fim de conseguir maiores rendimentos, o que poderia afetar a conservação dos solos, da diversidade genética, entre outros.

Justifica-se a relevância deste tema de estudo devido ao fato amplamente aceito de que o uso da terra na agricultura desempenha um papel central para o desenvolvimento sustentável (IPCC, 2014). Além disso, conforme argumenta Verburg *et al.* (2013), a terra utilizada para a produção de alimentos constitui a principal base biofísica para proporcionar segurança alimentar, portanto, as pressões exercidas sobre ela trazem enormes implicações para a sociedade. Cabe lembrar que o ano de 2015 foi declarado como “Ano Internacional dos Solos” (AIS), pelas Nações Unidas (UNFAO, 2015), como forma de reiterar que o uso da

terra insustentável acrescenta a degradação dos solos, que já estão em perigo, desafiando assim a capacidade de atender às necessidades das futuras gerações.

Ademais, este estudo justifica-se em razão da relevância para o Peru, visto que o país passou a ser o principal produtor e exportador de quinoa do mundo quando a situação de sua terra é altamente preocupante, destacando-se ainda a existência de algumas particularidades no entorno agrário. Chama-se a atenção para o seguinte: (i) a estrutura da produção agrícola é predominantemente conduzida por agricultores de pequeno porte, já que 82% das unidades produtivas têm menos de cinco hectares (INEI, 2012); (ii) o Peru possui características topográficas e climáticas complexas, e o solo é o recurso natural mais ameaçado com os processos de degradação. De acordo com o Ministério do Ambiente do Peru, aproximadamente a terceira parte da superfície do País encontra-se em algum estado de desertificação, bem como “zona desertificada” ou em “processo de desertificação”, devido fundamentalmente à salinização e erosão dos solos. Essas áreas estão localizadas em lugares onde se concentram as atividades agropecuárias, o que acelera os processos de degradação e incrementa a perda da capacidade produtiva do solo em zonas específicas de produção agrícola (MINAM, 2011a); (iii) soma-se a isso o fato de que a maior parte do território peruano está categorizada em situação de “vulnerabilidade muito alta” e “grave vulnerabilidade” às mudanças climáticas, riscos devido a desastres naturais e insegurança alimentar (WFP, 2014).

Pelo exposto e com base nessas considerações, a questão norteadora desta pesquisa foi: perante o fenômeno do *boom* da quinoa, como conciliar a crescente demanda mundial com o uso adequado de recursos naturais em um dos berços da agricultura do mundo? A discussão proposta nesta tese gira em torno do conceito do uso da terra, e suas interfaces com os serviços ecossistêmicos e a agrobiodiversidade. Ao mesmo tempo traz uma perspectiva sobre o *link* entre a intensificação do comércio internacional da quinoa e a expansão de terra cultivada no Peru, como o objetivo de contribuir para literatura em construção acerca das consequências das mudanças no uso da terra sobre a sustentabilidade dos sistemas agrobiológicos.

A principal motivação para realização deste estudo é o fato de que o Peru acolhe uma riqueza extraordinária de recursos genéticos de grande importância para a agricultura e a produção de alimentos (Vavilov, 1951; Dillehay *et al.*, 2007; Pearsall, 2008), pois está localizado na região dos Andes Tropicais, que é considerada como uma das mais ricas e diversas do planeta (CI, 2013). Portanto, o uso da terra é essencial para fortalecer (ou não) a

conservação da diversidade agrícola peruana. É interessante notar que as projeções para os estudos na ciência da sustentabilidade da próxima década destacam a importância do conhecimento sobre a origem e a domesticação de plantas cultivadas, não só sobre a forma como a domesticação ocorreu, mas também sobre quando, onde e o porquê não ocorreu (Larson *et al.*, 2014). Também se reconhece cada vez mais a importância das regiões geográficas onde se originaram os diversos cultivos que, na atualidade, são consumidos mundialmente, a fim de possibilitar a colaboração internacional na conservação de recursos genéticos (Khoury *et al.*, 2016).

3. OBJETIVOS E ESTRUTURA DA TESE

3.1. Objetivo Geral

Identificar e analisar as mudanças no uso da terra no Peru decorrentes do *boom* da quinoa.

3.2. Objetivos Específicos

- a) Analisar a dinâmica da expansão do cultivo da quinoa e identificar as mudanças no uso da terra resultantes do *boom* da quinoa;
- b) Determinar se as mudanças no uso da terra resultantes do *boom* da quinoa ameaçam a agrobiodiversidade na principal região produtora de quinoa: Puno;
- c) Calcular o impacto do *boom* da quinoa na expansão do seu cultivo, em termos de área ocupada;
- d) Conhecer e discutir os mecanismos pelos quais a demanda global por quinoa ocasiona mudanças no uso da terra no Peru.

3.3. Estrutura da tese

A tese é organizada em três capítulos. Neste primeiro capítulo expõe-se o problema de pesquisa e a sua justificativa, planteiam-se os objetivos, apresenta-se a revisão da literatura, a qual proporciona os fundamentos para discutir os resultados, assim como os aspectos metodológicos que conduziram esta investigação.

No segundo capítulo, apresenta-se o artigo intitulado “*The quinoa boom: will land competition threaten sustainability in one of the cradles of agriculture?*”. Esse artigo buscou atingir os dois primeiros objetivos específicos e traz três discussões: o *boom* da produção de quinoa no Peru no século XXI, as transformações das práticas agrícolas e as tendências de competição pelo uso da terra para a produção de cultivos Andinos na região Puno, principal região de produção de quinoa no Peru.

Em seguida, no terceiro capítulo, apresenta-se o artigo intitulado “*Expansion of quinoa production and land use competition in Peru: implications for land use management*”. Esse estudo buscou atingir o terceiro e o quarto objetivo específico. O artigo considerou o caso hipotético da não ocorrência do *boom* da quinoa, sendo a pergunta guia a seguinte: se o *boom* da quinoa não tivesse ocorrido, como teria sido a dinâmica do uso da terra no Peru? Posteriormente, com base na tipologia proposta por Lambin e Meyfroidt (2011) sobre os efeitos da globalização na mudança no uso da terra, foram identificados e discutidos três mecanismos: efeito de deslocamento, efeito rebote e efeito cascata.

Por fim, apresentam-se as considerações finais da pesquisa.

4. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesta seção apresenta-se a revisão da literatura, a qual está dividida em três partes. A primeira parte apresenta a quinoa como um exemplo dos alimentos negligenciados e revalorizados no século XXI, resgata elementos históricos do seu cultivo e descreve os aspectos gerais da sua produção no presente. A segunda parte aborda o conceito do uso da

terra e os mecanismos que ocasionam mudanças no uso da terra. Por fim, a terceira parte trata das relações entre o uso da terra, os serviços ecossistêmicos (e a sua interface com as funções ecossistêmicas) e a agrobiodiversidade.

4.1. Os produtos negligenciados do Peru e os sistemas agrários em um contexto histórico

Para a sociedade humana, um dos progressos mais importantes foi a transição bem sucedida de uma economia de subsistência, baseada na busca de alimentos, para uma economia baseada, principalmente, na produção de alimentos a partir da manipulação e da domesticação de plantas. Essa transição ocorreu de forma independente em poucos centros do mundo, e um deles foi o Peru (Dillehay *et al.*, 2005; Mazoyer e Roudart, 2006a), pois era necessário reunir condições de sedentarismo, interação social, formação de campos agrícolas permanentes e construção de canais de irrigação. De acordo com Mazoyer e Roudart (2006a), a revolução agrícola neolítica nos Andes Peruanos deve ter se desenvolvido há mais de 6000 anos antes da presente Era.

Constata-se, com os trabalhos de Sandweiss e Richardson (2008) e Bush *et al.* (2015), que, o rol que as mudanças climáticas tiveram na história do desenvolvimento agrícola das culturas Andinas é um assunto altamente debatido no presente. Sabe-se que o uso da terra e a escolha e domesticação de cultivos nas sociedades pré-colombianas do Peru foram influenciadas pelas condições climáticas e características do ambiente. De acordo com Stanish (2003) e Pearsall (2008), a evolução agrícola das antigas civilizações do Peru em regiões difíceis para a agricultura, como por exemplo nas zonas próximas aos 4000 msnm, foi possível graças ao uso de tecnologias para campos elevados e à seleção cuidadosa de cultivos prósperos para a zona, como batata, tarhui e quinoa.

O trabalho de Vietmeyer (1986) mostra que muitos dos cultivos de importância para as dietas das populações pré-incaicas e incaicas foram ignorados após 1531, quando os desbravadores espanhóis invadiram o Peru, dando início a uma série de eventos que influenciaram o sistema de produção de alimentos. Assim, por exemplo, a batata foi levada para a Europa setenta anos depois, mas muitos outros produtos foram se perdendo com o colapso da cultura Inca, como a quinoa (*Chenopodium quinoa*), oca (*Oxalis tuberosa*), arrachaca (*Arracada xanthorrhiza*) e nuña (*Phaseolus vulgaris*).

Com a intenção de resgatar os cultivos agrícolas das Américas, marginalizados nos últimos 500 anos, em 1994 foi publicado o livro intitulado “*Neglected crops: 1492 from a different perspective*”¹ (FAO, 1994). Essa publicação, que posteriormente serviu como referência para estudos de grande importância sobre a agricultura Andina (Pearsall, 2008), apresentou os cultivos marginalizados na região dos Andes peruanos. Alguns deles encontram-se no Quadro 1. A conservação de tais cultivos para o presente foi possível graças a uma combinação de fatores que dependeram da gestão do próprio agricultor, a fim de preservar suas tradições e conhecimento ancestral no manejo, cultivo e uso dessas espécies. Entre eles está a escolha de sistemas de rotação e associação de cultivos, o manejo do solo para adequá-lo à produção mediante tecnologias para campos elevados, o uso de indicadores biológicos para a predição das condições climáticas e o uso de plantas repelentes de insetos como controladores de pragas, etc.

É interessante notar que a finalidade de promover o resgate destes cultivos foi aumentar o seu uso e a produtividade, como modo de aliviar as condições de vida e alimentação das populações de recursos econômicos escassos, ao invés de promover a sua produção com fins de exportação. Assim, “espécie negligenciada ou marginalizada” referia-se a,

[...] cultivos que em outros momentos ou sob outras condições tiveram maior importância na agricultura tradicional e na alimentação dos povos indígenas e outras comunidades locais. Não se trata necessariamente de cultivos promissórios, por uma parte, porque já têm sido cultivados, e por outra, porque não se pretende com o seu resgate converter eles em intensivos ou de produção exportável. (FAO, 1994), p. XIX.

¹ O projeto deste livro foi concebido pela FAO e o Jardín Botánico de Córdoba, Espanha, com o intuito de realizar o Congresso “Etnobotánica 92”, em setembro de 1992. A obra serviria de protocolo inicial para discussão sobre cultivos marginalizados, orientação para definir prioridades a fim de estabelecer novos projetos de pesquisa e planejar estratégias para melhora destes cultivos.

Cultivo	Nome latino	Altitude (msnm)
Grãos		
Quinoa, quinoa	<i>Chenopodium quinoa</i>	2300-3900
Qañiwa, canihua, cañahua, cañihua	<i>Chenopodium pallidicaule</i>	3500-4100
Amaranto, kiwicha	<i>Arnaranthus caudatus</i>	2000-3000
Tubérculos		
Mashwa, mashua, añu	<i>Tropaeolum tuberosum</i>	3500-4100
Oca	<i>Oxalis tuberosa</i>	2300-4000
Batata amarga	<i>Solanum curtilobum</i>	3900-4200
	<i>Solanum juzepczukii</i>	
Batata	<i>Solanum indigenum</i>	1000-3900
Ulluku, ulluco, papalisa	<i>Ullucus tuberosus</i>	2800-4000
Leguminosas		
Tarwi, tarhui, chocho	<i>Lupinus mutabilis</i>	500-3800
Ñuna, ñuña	<i>Phaseolus vulgaris</i>	1500-3500
Pajuro	<i>Erythrina edulis</i>	2000-2800
Raíces		
Achira, Acira	<i>Canna edulis</i>	1000-2500
Arracacha, raqacha	<i>Arracada xanthorrhiza</i>	1000-2800
Chagos, mauka, miso, chaco	<i>Mirabilis expansa</i>	1000-2500
Maca	<i>Lepidium meyenii</i>	3900-4200
Yacón, aricoma	<i>Polymnia sonchifolia</i>	1000-3000

Quadro 1. Espécies andinas de grãos, tubérculos, leguminosas e raízes alimentícias negligenciadas no século XX

Fonte: Adaptado de Mujica (1994)

Cabe destacar, porém, que a quinoa foi uma exceção, pois atualmente a sua popularidade em nível global tem conduzido à intensificação de sua produção e exportação. É importante lembrar que a quinoa é um dos alimentos que apareceram mais cedo no Peru, aproximadamente entre 8000 e 7500 anos A.C., mesmo antes da batata e o milho (Dillehay *et al.*, 2007), e que o seu cultivo fez parte de sistemas agrários específicos nas épocas pré-incaica e incaica, os quais finalmente modelaram os sistemas utilizados no presente.

A obra magistral de Mazoyer e Roudart, intitulada “*A History of World Agriculture: From the Neolithic Age to the Current Crisis*” (Mazoyer e Roudart, 2006a), mostra que em cada época da história as performances dos sistemas agrários que se desenvolvem em diferentes partes do mundo dependem muito da herança dos sistemas precedentes. Assim, temos que as antigas civilizações hidroagrícolas que se constituíram nos Andes peruanos exploraram vários territórios situados em diferentes níveis ecológicos de altitude e criaram sistemas agrários diferenciados em distintas zonas bioclimáticas. O Império Inca apoiou-se fortemente na herança dessas antigas civilizações, e organizou de maneira sistemática um conjunto de zonas agroecológicas, levando adiante a especialização de cada uma das regiões.

Dessa forma, o sistema agrário de cada zona era muito diversificado e dispunha de uma base alimentar autônoma.

Segundo os autores,

[...] cada sistema agrário é a expressão teórica de um tipo de agricultura historicamente constituído e geograficamente localizado. Ele é composto de um ecossistema cultivado característico e de um sistema social produtivo definido, que permite explorar sustentavelmente a fertilidade do ecossistema cultivado correspondente. O sistema produtivo é caracterizado pelo tipo de instrumento e de energia utilizado para transformar o ecossistema, para renovar e para explorar sua fertilidade. O tipo de instrumento e de energia utilizado é, por sua vez, condicionado pela divisão do trabalho hegemônico na sociedade da época. (Mazoyer e Roudart, 2006a, p.51).

A quinoa fazia parte de dois sistemas localizados em altitudes entre 2300 e 4000 msnm, nas zonas *quéchua* e *suni*². Tais sistemas são:

a) Na zona *quéchua* (2300 - 3500 msnm): o sistema irrigado de cultivo de milho associado com feijão, tarhui, quinoa ou leguminosas; ou tubérculos, tarhui e quinoa, em rotação com um pousio herbáceo de média duração, nas terras de cultivo não irrigadas;

b) Na zona *suni* (3500 - 4000 msnm): o sistema de cultivo à base de batata. Nesse sistema, a batata era colocada como primeiro cultivo em diversas rotações variando com a altitude. Por exemplo, encontrava-se a rotação do gênero batata/tarhui/quinoa/pousio herbáceo de alguns anos (nas altitudes menos elevadas), ou a rotação batata amarga/cañigua/pousio herbáceo de alguns anos (nas altitudes mais elevadas).

Entre outras funções, o pousio herbáceo participava pela produção de biomassa e reprodução da fertilidade das terras cultivadas. De acordo com Mujica (1994), com a finalidade de povoar as regiões mais altas do Peru, adaptaram-se espécies tolerantes ao frio, como a quinoa, cañigua e maca, que prosperaram em altitudes de até 4000 msnm. Os tubérculos como a oca, olluco e mashua eram cultivados para completar a rotação de cultivos.

² A proposta de divisão geográfica do Peru em oito "regiões naturais", segundo o geógrafo peruano Javier Pulgar Vidal (1987), foi baseada no clima, altitude e uso da terra. Para nomeá-las utilizou termos do idioma Quéchua. A zona "*quéchua*" inclui algumas das terras mais produtivas no Peru, a temperatura anual média oscila entre 11°C e 16°C, com temperaturas máximas de 29°C e mínimas de -4°C. A zona "*suni*" tem áreas limitadas adequadas para a agricultura. O clima é frio, a temperatura anual média oscila entre 7°C e 10°C, com temperaturas máximas de 20°C e mínimas de -16°C (Sandweiss e Richardson, 2008).

Nas regiões mais baixas, eram associados produtos como o milho, feijões, quinoa, amaranto e tarhui; e raízes como a arracacha, yacón e chagos.

4.2. Os sistemas de produção de quinoa no Peru no século XXI: aspectos gerais

4.2.1. Descrição botânica e agrônômica

A quinoa pertence à família das *Chenopodiaceae*, que é a mesma família do espinafre e da beterraba. É uma planta herbácea anual, dicotiledônea de ampla dispersão geográfica, com características peculiares na sua morfologia, coloração e comportamento em diferentes zonas agroecológicas onde é cultivada. Apresenta grande plasticidade para se adaptar a diferentes condições ambientais e se cultiva desde o nível do mar até 4000 msnm. É muito tolerante a fatores climáticos adversos, como geadas e secas. Seu período vegetativo varia desde 90 até 240 dias, cresce com precipitações desde 200 a 280 ml anuais, adapta-se aos mais diversos tipos de solos, desde ácidos (com pH 4,5) até alcalinos (com pH 9,0), podendo ser de textura arenosa até argilosa (INIA e FAO, 2015).

4.2.2. Conteúdo nutricional

A quinoa é um alimento excepcional, visto que possui um excelente balanço de nutrientes para a alimentação humana, mas a quantidade e a qualidade da proteína são especialmente importantes. O conteúdo proteico das sementes varia entre 14 e 22%, não possui glúten e a vantagem nutricional mais importante é a sua composição de aminoácidos essenciais, destacando o conteúdo de lisina, que é um dos aminoácidos mais escassos nos alimentos de origem vegetal. Constitui também uma fonte importante de ácidos graxos essenciais linoleico e linolênico, assim como de vitaminas, especialmente B2, C e E; e minerais, especialmente o conteúdo de ferro, que é duas vezes maior em relação ao trigo e à cevada, três vezes maior do que o arroz e aproximadamente seis vezes maior do que o milho (Gómez e Eguiluz, 2011).

4.2.3. Classificação agroecológica da quinoa

De acordo com o Catálogo de Variedades Comerciais de Quinoa (INIA e FAO, 2015) existem cinco subcentros de diversidade de quinoa no Peru (ver Figura 1), dada a diversidade genética da coleção de germoplasma. Os subcentros são agrupados da seguinte forma:

- Um subcentro localizado no Altiplano de Puno, que alberga a maior diversidade genética de tamanhos, cores e sabores;
- Quatro subcentros nos Vales Interandinos, nas regiões de Junin, Cusco, Ayacucho e Apurímac.

Nos bancos de germoplasma do Peru conservam-se 6302 acessões de quinoa (FAO e CIRAD, 2015), e o número de variedades comerciais de quinoa é igual a 20 (INIA e FAO, 2015).

4.2.4. Zonas agroecológicas potenciais de produção de quinoa

Existem três zonas potenciais de produção, de acordo com a elasticidade genética da quinoa: o Altiplano de Puno (bacia do Lago Titicaca), os Vales Interandinos e a Costa (ver Figura 1). Essa classificação agroecológica utilizada por INIA e FAO (2015) considera: a revisão das características varietais, os resultados de resposta da quinoa a diferentes condições climáticas e o potencial para a geração de novas variedades adaptáveis ao contexto atual de mudança climática.

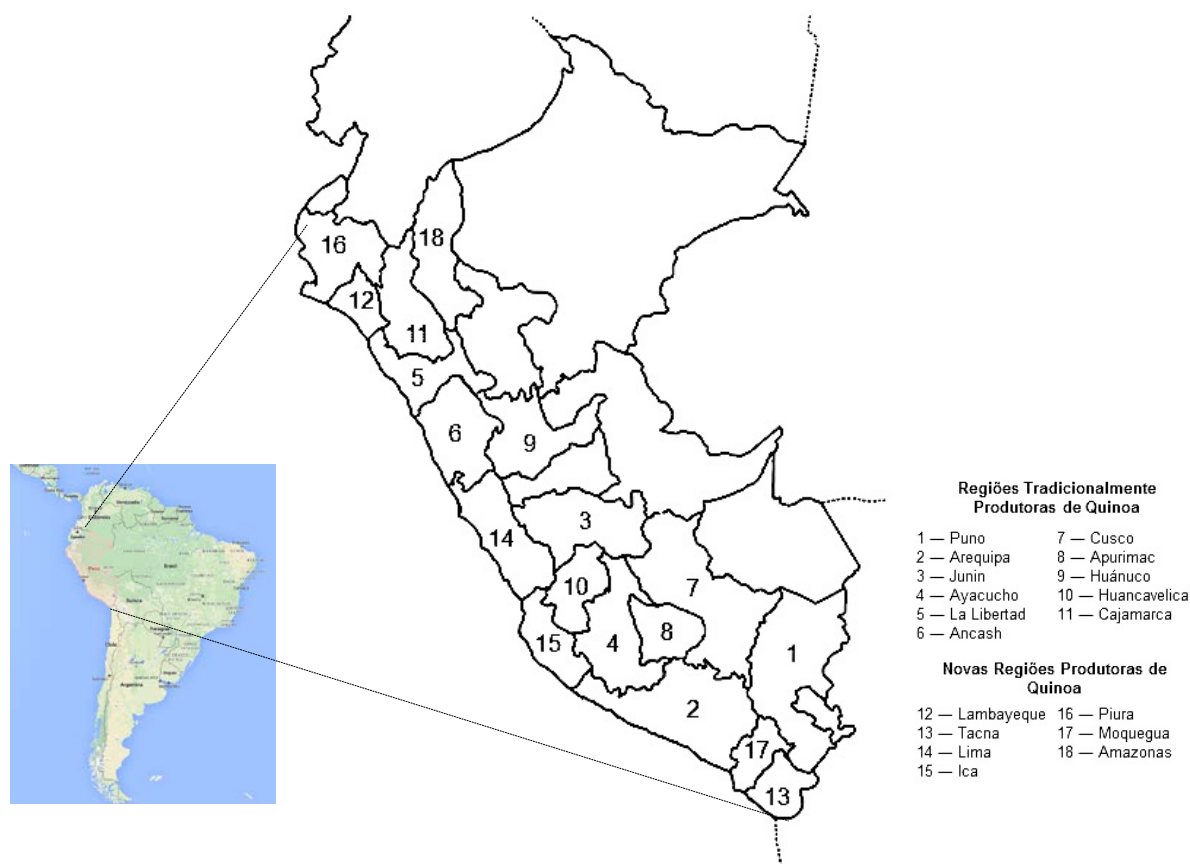


Figura 1. Figura ilustrativa destacando as zonas agroecológicas potenciais de produção de quinoa no Peru.

Fonte: Elaborado pela autora

4.3. Uso da terra

Ao longo da história, o homem tem modificado os sistemas naturais a fim de obter produtos agrícolas e aproveitar os recursos da terra. Mas, hoje em dia, o assunto das mudanças no uso da terra torna-se mais complexo devido aos múltiplos desafios que a agricultura enfrenta para o fornecimento de alimentos, tais como a degradação do solo e as alterações climáticas. Nesse sentido, a ciência do uso da terra emergiu como um componente essencial dos estudos relacionados à sustentabilidade em particular, fazendo parte de um campo interdisciplinar que procura entender a dinâmica do uso da terra como um sistema que conecta o homem e o ambiente (Turner *et al.*, 2007). Essa área do conhecimento busca um

entendimento cada vez maior sobre as interconexões socioeconômicas e ambientais, em escalas espaciais e temporais, a fim de criar soluções sustentáveis na administração e governança dos recursos naturais (Liu *et al.*, 2015).

4.3.1. Causas e mecanismos de mudanças no uso da terra

As causas que conduzem às mudanças no uso da terra na agricultura são muito diversas; porém, de acordo com Lambin *et al.* (2003), existem alguns padrões generalizáveis, que são o resultado das interações recorrentes entre forças impulsoras que seguem sequências específicas de eventos. Assim, tais causas podem ser agrupadas da seguinte forma:

- A escassez de recursos, o que conduz ao incremento da pressão sobre eles (p.ex.: diminuição da disponibilidade de terra devido à sua ocupação para outros usos, perda da produtividade da terra pelo uso inapropriado ou intensivo, etc.);
- As oportunidades criadas pelos mercados (p.ex.: novas tecnologias para intensificar o uso de um recurso, aumento da comercialização e industrialização, preços, custos de produção e transporte, etc.);
- Perda de capacidade adaptativa e maior vulnerabilidade (p.ex.: riscos associados com perigos naturais, dependência de recursos externos, empobrecimento, etc.);
- Mudanças na organização social e no acesso aos recursos (p.ex.: mudanças na gestão da terra relacionadas com a tenência, títulos de propriedade, etc.);
- Políticas externas (p.ex.: programas de desenvolvimento econômico, subsídios desfavoráveis, governança pobre, etc.);

Os fatores locais que determinam o uso da terra podem ser reorganizados por forças globais quando, em uma dada região, a mudança rápida no uso da terra coincide com a incorporação dessa região em uma economia mundial em expansão (Lambin *et al.*, 2001). Portanto, a globalização, como tal, não é um *driver* de tal mudança, mas é um processo que acelera o impacto dos fatores que a provoca. Tais fatores, variáveis no tempo e no espaço,

podem ser econômicos, tecnológicos, demográficos, institucionais, culturais, entre outros (Lambin *et al.*, 2003).

O fenômeno da globalização da agricultura e do sistema alimentar, assim como as suas causas e consequências, pode ser abordado de distintas formas, o que tem sido amplamente discutido por Von Braun e Diaz-Bonilla (2008). Uma delas diz respeito ao aumento do volume de alimentos comercializados internacionalmente, que cresce na proporção da produção, em resposta a mudanças nos padrões alimentares, preferências dos consumidores, renda mais alta, entre outros motivos. Consequentemente, o papel do comércio internacional nos estudos da sustentabilidade torna-se cada vez mais polêmico, pois afeta assuntos de importância global, tal como o uso da terra para produção de alimentos (Liu *et al.*, 2013; Yu *et al.*, 2013).

O *link* entre as mudanças no uso da terra e o comércio internacional tem proporcionado *insights* sobre a forma como as necessidades dos países desenvolvidos conduzem o deslocamento de terra nos países em desenvolvimento, exercendo pressões sobre a biodiversidade local (Lenzen *et al.*, 2012; Weinzettel *et al.*, 2013; Kastner *et al.*, 2014) e sobre a reconfiguração dos sistemas de produção de alimentos, modificando as paisagens dos agroecossistemas em função dos padrões alimentares (Kastner *et al.*, 2012; Rueda e Lambin, 2013). Considera-se que na exportação e importação de produtos agrícolas há terra produtiva incorporada e, portanto, os impactos ocasionados pela mudança no uso da terra também estão incorporados nessas atividades, o que é denominado “terra virtual” (do inglês, *virtual land*) (Wurtenberger *et al.*, 2006; Qiang *et al.*, 2013) ou “terra incorporada” (do inglês, *embodied land*) (Lugschitz *et al.*, 2011; Yu *et al.*, 2013).

Lambin e Meyfroidt (2011) argumentam que a globalização, combinada com a iminente escassez de terra em nível mundial, aumenta a complexidade das vias que conduzem às mudanças no uso da terra. Por isso, o sistema terrestre deve ser entendido como um sistema aberto, com grandes fluxos de bens, pessoas e capital, que conecta o uso da terra em nível local com fatores em escala global. Em tal sentido, a globalização influencia na dinâmica das mudanças no uso da terra mediante processos diretos ou indiretos, que podem ser sistematizados em: efeito de deslocamento, efeito rebote e efeito cascata³.

O *efeito de deslocamento* refere-se à migração de atividades produtivas de um lugar para outro, de uma maneira a ocasionar mudanças no uso da terra em novas localidades. Por

³ Do inglês, *displacement, rebound, cascade effects*.

sua vez, o *efeito rebote* relaciona as mudanças no uso da terra com as medidas adotadas para incrementar a eficiência da produção, seja pelo uso de novas tecnologias ou pelo aumento do número de empresas atuantes no setor. Já o *efeito cascata* representa uma cadeia de eventos provocados por uma perturbação que afeta o sistema terrestre na sua totalidade.

4.3.2. Uso da terra, funções e serviços ecossistêmicos

As mudanças no uso da terra, no clima ou na concentração de dióxido de carbono atmosférico afetam os ecossistemas terrestres, mas as projeções para o futuro indicam que a primeira delas seria a causadora dos maiores impactos (Sala *et al.*, 2000). Questiona-se, portanto, se as atividades de uso da terra no presente comprometem os serviços ecossistêmicos e a sustentabilidade em longo prazo das sociedades humanas (Steffen *et al.*, 2004; Foley *et al.*, 2005).

A definição de serviços ecossistêmicos é ambígua no meio acadêmico (Fisher *et al.*, 2009; Fu *et al.*, 2011; Chan *et al.*, 2016). Inicialmente, essa definição estava dirigida ao bem-estar humano, ao invés de promover discussões relacionadas com o valor monetário (p.ex.: as análises de custo-benefício, os sistemas de pagamento, etc.). Assim, os serviços ecossistêmicos seriam definidos como: (i) as “condições e processos” provenientes dos ecossistemas naturais e das espécies que os compõem, que sustentam e atendem a vida humana (Daily, 1997); (ii) os “benefícios” para populações humanas que derivam, direta ou indiretamente, das funções dos ecossistemas (Costanza *et al.*, 1997); e (iii) os “benefícios” que as pessoas obtêm dos ecossistemas (MEA, 2005).

Contudo, atualmente há um consenso de que os serviços ecossistêmicos representam um fenômeno ecológico, diferente das suas funções e processos (Fischer *et al.*, 2006; Boyd e Banzhaf, 2007; Fisher *et al.*, 2009; Maseyk *et al.*, 2016). Em geral, serviços ecossistêmicos são os componentes da natureza, diretamente aproveitados, consumidos ou usufruídos para o bem-estar humano (Boyd e Banzhaf, 2007); e os processos intermediários necessários para alcançar os serviços dos ecossistemas são chamados de funções ecossistêmicas (Fu *et al.*, 2011). Assim, as funções ecossistêmicas existem independentemente do fato de serem utilizadas, desfrutadas ou usufruídas.

Os serviços ecossistêmicos são classificados em quatro categorias principais, segundo a Avaliação Ecosistêmica do Milênio da ONU (MEA, 2005):

- Serviços de suporte: são os serviços necessários para a produção de todos os demais serviços ecossistêmicos (p.ex.: formação do solo, ciclo dos nutrientes, etc.);
- Serviços de provisão: são os produtos obtidos a partir dos ecossistemas (p.ex.: produção de alimentos, madeira, fibra, etc.);
- Serviços de regulação: são os benefícios fornecidos pelas próprias propriedades de manutenção dos ecossistemas (p.ex.: controle da erosão do solo, regulação do clima, da qualidade da água, etc.);
- Serviços culturais: que geram benefícios não materiais derivados a partir dos ecossistemas (p.ex.: espirituais e religiosos, herança cultural, etc.).

Por outro lado, as funções ecossistêmicas são classificadas em quatro grupos, segundo De Groot *et al.* (2002):

- Funções de regulação: estão relacionadas à capacidade dos ecossistemas regularem processos ecológicos essenciais de suporte à vida, por meio de ciclos biogeoquímicos e outros processos da biosfera. Além de manterem a saúde dos ecossistemas, as funções de regulação têm impactos diretos e indiretos sobre as populações humanas (p.ex.: formação do solo, regulação de nutrientes, controle biológico, etc.);
- Funções de produção: estão vinculadas à capacidade dos ecossistemas de fornecerem alimentos para o consumo humano (p.ex.: recursos genéticos, matéria orgânica em geral, etc.);
- Funções de hábitat: são fundamentais para a conservação da diversidade biológica e genética e para a preservação de processos evolucionários (p.ex.: refugio e berçário);
- Funções de informação: estão relacionadas à capacidade dos ecossistemas naturais de contribuir para a saúde humana pela provisão de oportunidade de reflexão, enriquecimento espiritual, desenvolvimento cognitivo e recreação estética (p.ex.: informação histórica e espiritual, artística, cultural, etc.).

Os serviços proporcionados pelos agroecossistemas são determinados, em grande parte, pelas práticas agrícolas utilizadas (Moonen e Barberi, 2008; Wood *et al.*, 2015). Assim, uma das perguntas mais importantes para o futuro da agricultura global questiona quais são as melhores opções de práticas agrícolas para diferentes condições agroecológicas e socioeconômicas, a fim de conservar os solos e controlar a erosão (Pretty *et al.*, 2010).

Neste sentido, Mazoyer e Roudart (2006a) argumentam que em todo sistema agrário (durável e expandido) é necessário um método eficaz de renovação da fertilidade⁴ para se desenvolver e se perpetuar, e a fertilidade está condicionada pelo clima e pela geomorfologia do lugar. No que diz respeito aos modos de renovação da fertilidade dos solos cultivados, os autores consideram que,

[...] desde que a agricultura conquistou o mundo, os sistemas naturais originais se transformaram em ecossistemas cultivados, e a sua capacidade de produção passou a estar determinada por duas variáveis: a extensão e a fertilidade da terra. Essas duas variáveis são condicionadas pelas características do sistema original, mais ou menos modificadas pelos sistemas agrários que a ele sucederam anteriormente, e são comandadas pelo modo de renovação da fertilidade do sistema local. (Mazoyer e Roudart, 2006a, p.64).

A fim de sustentar a produtividade agrícola, algumas das formas de manejo da fertilidade do solo incluem: as rotações de cultivos, sistemas agrícolas tradicionais de cereais, tubérculos e outros produtos básicos; sistemas silviculturais, agroflorestais e agrossilvipastoris (Pretty *et al.*, 2010). As práticas como associação e rotações de cultivos aumentam o capital de nutrientes do solo (Hooper *et al.*, 2005; Dale e Polasky, 2007); favorecem a eficiência no uso da água, no controle de pragas (Tilman *et al.*, 2002) e na manutenção de insumos orgânicos (Swift *et al.*, 2004). Além disso, a presença de leguminosas pode contribuir para o enriquecimento do solo em nitrogênio (Mazoyer e Roudart, 2006a).

Espera-se que até 2050 a demanda por terra agrícola capaz de fornecer diversos serviços ecossistêmicos intensificará a competição pelo uso da terra (Smith *et al.*, 2010), o que será influenciado por *drivers* de caráter social (p.ex.: intensificação agrícola, preferências alimentares, fatores culturais, etc.); socioeconômico (comércio, preço das commodities, variações na demanda, etc.); ou institucionais (p.ex.: políticas no uso da terra, distribuição da

⁴ A fertilidade global de um ecossistema é a sua capacidade de produzir de modo durável a biomassa vegetal (Mazoyer e Roudart, 2006a, p. 52).

terra, governança, etc.). Ao mesmo tempo, as pressões que ocasionam competição pelo uso da terra respondem a causas naturais (p.ex.: doenças ou pragas, disponibilidade de recursos hídricos, desastres naturais, etc.); transições (p.ex.: cultivos e pastos, construção de caminhos, etc.); e atividades de degradação (p.ex.: sobre-exploração, sobrepastoreio, etc.).

4.3.3. Uso da terra e Agrobiodiversidade

Agrobiodiversidade é um termo amplo que inclui todos os componentes da biodiversidade que têm relevância para a agricultura e a alimentação, além de todos os componentes da biodiversidade que constituem os agroecossistemas, ou seja: variedade e variabilidade de animais, plantas e micro-organismos, nos níveis genético, de espécies e dos ecossistemas, os quais são necessários para sustentar as funções-chaves dos agroecossistemas, suas estruturas e processos. Portanto, a agrobiodiversidade é o resultado das interações entre os recursos genéticos, o meio ambiente, os sistemas e as práticas de manejo utilizadas pelos agricultores, ou seja, é o resultado tanto da seleção natural quanto da inventiva humana desenvolvida ao longo de milênios (CBD, 2013a; 2013b).

Segundo a Convenção sobre Diversidade Biológica⁵, as principais dimensões da agrobiodiversidade são: (i) os recursos genéticos para a alimentação e a agricultura; (ii) os componentes da biodiversidade que sustentam os serviços dos ecossistemas nos que se baseia a agricultura (p.ex.: inclui uma ampla gama de organismos que contribuem no ciclo de nutrientes, regulação de pragas e doenças, controle da erosão, etc.); (iii) os fatores abióticos (p.ex.: o clima e o funcionamento dos ecossistemas; os quais possuem um efeito determinante sobre a diversidade biológica e agrícola); e (iv) as dimensões socioeconômicas e culturais, pois a diversidade biológica, em grande parte, é determinada e mantida pelas atividades humanas e práticas de gestão. Essas dimensões incluem o conhecimento tradicional e local da agrobiodiversidade, os fatores culturais, entre outros.

Em geral, a degradação do solo e a perda da biodiversidade são duas das preocupações ambientais mais bem documentadas e desafiam o futuro da produtividade agrícola (Hazell e

⁵ A Convenção sobre Diversidade Biológica foi assinada durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada na cidade do Rio de Janeiro em 1992. É o primeiro acordo global que abrange todos os aspectos da biodiversidade: a conservação da diversidade biológica, a utilização sustentável de seus componentes e a repartição justa e equitativa dos benefícios derivados da utilização dos recursos genéticos.

Wood, 2008), mas a compreensão sobre os processos que causam as alterações da agrobiodiversidade, induzidas pelas transformações do uso da terra, e que impactam o funcionamento do ecossistema ainda é insuficiente (Nagendra *et al.*, 2013). Contudo, considera-se que as mudanças no uso da terra causadas pelas atividades humanas representam a principal força impulsionadora para a perda de diversidade biológica em todo o mundo (Vitousek *et al.*, 1997; Hooper *et al.*, 2005).

De acordo com Swift *et al.* (2004), a perda de agrobiodiversidade é associada à intensificação agrícola, desde que o número de culturas é reduzida a uma ou algumas poucas espécies, que no geral são geneticamente homogêneas, comprometendo assim a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Nesse sentido, um dos grandes desafios do futuro será reconciliar a produção de alimentos com a conservação da agrobiodiversidade, e promover uma intensificação sustentável, a fim de fornecer segurança alimentar sem aumentar as pressões na terra, proporcionando alimentos nutritivos na mesma área e mantendo a prestação de serviços do ecossistema (Smith, 2013).

Distintos estudos têm evidenciado a importância da conservação da agrobiodiversidade para a produção agrícola sustentável, segurança alimentar e nutricional, redução da dependência de insumos externos, maximização do uso efetivo dos recursos e melhoria dos meios de subsistência dos pequenos agricultores (Thrupp, 2000; FAO, 2004; Jackson *et al.*, 2007; Frison *et al.*, 2011; Tschardtke *et al.*, 2012; Kahane *et al.*, 2013; Barbieri *et al.*, 2014; FAO, 2014). Para o caso dos países localizados na região Andina, esse aspecto também é a base da soberania alimentar, visto que existem comunidades humanas que mantêm e dinamizam a agrobiodiversidade como um patrimônio social e natural (COPISA, 2012), proporcionando valor cultural, espiritual e religioso para as sociedades.

Da mesma forma, a conservação da agrobiodiversidade é importante por uma questão de diversificação alimentar. No primeiro e segundo informes sobre o estado mundial dos recursos fitogenéticos para a alimentação e a agricultura (FAO, 1998; 2010), reconhece-se que, das 30 mil espécies vegetais comestíveis identificadas, ao redor de 7 mil espécies têm sido utilizadas em agricultura na história da humanidade, mas hoje em dia, unicamente o trigo, o arroz e o milho contribuem com mais da metade do aporte calórico à dieta humana.

O uso da terra determina a conservação da agrobiodiversidade e a provisão de serviços ecossistêmicos, dos quais depende a produção agrícola (Fischer *et al.*, 2006; Pretty *et al.*, 2010; Rey Benayas e Bullock, 2012). A agrobiodiversidade favorece a fertilidade do solo e o controle de pragas, devido ao incremento das populações de inimigos naturais (Landis *et al.*,

2000; Power, 2010). Quando a diversidade genética é maior, a probabilidade de ocorrência de doenças e pragas reduz (Swift *et al.*, 2004), a resiliência frente a pressões externas aumenta (Fischer *et al.*, 2006) e a vulnerabilidade diminui (Steffen *et al.*, 2004)⁶.

5. ASPECTOS METODOLÓGICOS DA PESQUISA

Para identificar e entender os eventos relacionados às mudanças no uso da terra no Peru, decorrentes do *boom* da quinoa, foi necessário analisar a trajetória da produção desse produto ao longo do tempo. Para tanto, esta pesquisa foi realizada com base em dados secundários disponibilizados por entidades e órgãos oficiais. No segundo e terceiro capítulo detalham-se as metodologias seguidas em ambos os estudos que conformam esta tese. Nesse sentido, nesta seção apresenta-se uma síntese delas.

5.1. Período de análise

O período de análise compreendeu os anos de 1995 até 2014, o que se justifica pelos seguintes motivos: (i) as transformações significativas pelas quais passou o setor agropecuário peruano antes da década de 1990, por exemplo: na estrutura da propriedade, na tenência e mercado de terras, na estrutura institucional relacionada ao setor agrário, etc. (INEI, 1997); (ii) dos quatro censos agropecuários realizados até a atualidade, o terceiro foi publicado em 1994; (iii) considera-se importante o fato de que em 1994 foi publicado o livro “*Neglected crops: 1492 from a different perspective*”, no qual foram apresentados os cultivos agrícolas marginalizados nas Américas nos últimos 500 anos (FAO, 1994); e (iv) os dados de produção de quinoa disponíveis durante a realização deste estudo abrangem até o ano de 2014.

⁶ O conceito de “vulnerabilidade” é determinado por fatores de exposição (quando o ecossistema entra em contato com estresses particulares), sensibilidade (que é o grau em que o ecossistema é afetado pela exposição a qualquer conjunto de estresses) e resiliência (a capacidade do ecossistema para resistir ou se recuperar de danos associados com a convergência de múltiplos estresses) (Steffen *et al.*, 2004).

5.2. Regiões de estudo

Consideraram-se as 18 regiões produtoras de quinoa em 2014 (ver Figura 1). Nelas encontram-se as 11 regiões tradicionalmente produtoras (que existiam desde antes do *boom* da quinoa) e as 7 novas regiões produtoras (que surgiram em decorrência do *boom* da quinoa).

5.3. Dados utilizados e fontes

Os dados utilizados foram:

- Quantidade produzida, área cultivada e preço pago ao produtor de quinoa, a partir da OEEE-MINAGRI (*Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos del Ministerio de Agricultura y Riego del Perú*) (OEEE/MINAGRI, 2015). Também foram analisados os dados de quantidade produzida e área cultivada dos seguintes produtos negligenciados localizados na região Puno: cañigua, mashua, oca e tarhui.
- Volume de exportação e preço FOB de quinoa; a partir do SIICEX (*Sistema Integrado de Información de Comercio Exterior*) (SIICEX, 2015). Nesse caso, considerou-se a quinoa na forma de grão, pois é a principal forma de exportação, seguindo distintos códigos de busca (em espanhol, *números de partidas*), de acordo com o período: N° 1008901000 (período 1995-1997), N° 1008901090 (período 1998-2006), N° 1008901900 (período 2007-2011) e N° 1008509000 (período 2012-2014).

5.4. Análise de dados

O Quadro 2 resume as etapas desenvolvidas na pesquisa e apresenta as técnicas de análise de dados adotadas em cada uma delas.

ARTIGO 1	Objetivo Específico 1	Analisar a dinâmica da expansão do cultivo da quinoa e identificar as mudanças no uso da terra resultantes do <i>boom</i> da quinoa.
		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Estatística Descritiva</i> • <i>Mapas temáticos com as variáveis: área cultivada (Ha) e variação porcentual anual de área cultivada com quinoa</i>
	Objetivo Específico 2	Determinar se as mudanças no uso da terra resultantes do <i>boom</i> da quinoa ameaçam a agrobiodiversidade na principal região produtora de quinoa: Puno.
		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Estatística Descritiva</i> <i>Variáveis: área cultivada (Ha) e quantidade produzida (MT) de produtos andinos: quinoa, cañigua, mashua, oca e tarhui</i>
ARTIGO 2	Objetivo Específico 3	Calcular o impacto do <i>boom</i> da quinoa na expansão do seu cultivo, em termos de área ocupada.
		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Análise de Componentes Principais (PCA)</i> <i>Variáveis: área cultivada (Ha) e quantidade exportada (MT) de quinoa</i> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Modelo Exponential Smoothing</i> <i>Variáveis: taxa de crescimento da área cultivada com quinoa</i>
	Objetivo Específico 4	Conhecer e discutir os mecanismos pelos quais a demanda global por quinoa ocasiona mudanças no uso da terra no Peru.
		<ul style="list-style-type: none"> • <i>Com base na tipologia proposta por Lambin e Meyfroidt (2011), sobre os efeitos da globalização na mudança no uso da terra</i>

Quadro 2. Etapas desenvolvidas na pesquisa e técnicas de análise de dados

Fonte: Elaborado pela autora

CHAPTER II

THE QUINOA BOOM: WILL LAND COMPETITION THREATEN SUSTAINABILITY IN ONE OF THE CRADLES OF AGRICULTURE?⁷

Authors: Noelia S. Bedoya-Perales^{1*}, Guilherme Pumi², Edson Talamini¹, Antonio Domingos Padula^{1,3}

Affiliations:

¹Federal University of Rio Grande do Sul, Center for Study and Research in Agribusiness.

²Federal University of Rio Grande do Sul, Statistics Department.

³Federal University of Rio Grande do Sul, School of Management.

*Corresponding author: Av. Bento Gonçalves 7712, Agronomia, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS, Brazil. E-mail address: noelia.bedoya@gmail.com (N.S. Bedoya-Perales).

⁷ This article will be submitted to the journal Land use Policy.
<http://www.journals.elsevier.com/land-use-policy>

ABSTRACT

The Andean grain crop Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) is considered one example of the thousands of little-known and underutilized plants that have exceptional nutritional value. After being ignored for a long time, quinoa has been rediscovered and gained prominence worldwide over recent years. Hence, Peru has emerged as a major player in the global quinoa market. Consequently, a question arises regarding the extent to which the growing global demand for quinoa is compatible with the appropriate natural resource management in Peru. For each region in Peru, descriptive statistics were used to calculate the mean variation in the percentages of harvested production and harvested area of Andean Crops from 1995 to 2014. The research results show that the quinoa boom is reflected in the evolution of a new geography of quinoa production in Peru that has been accompanied by the transformation of traditional farming practices and a trend towards increasing competition for land use. This phenomenon represents a warning, challenging all those involved to create a sustainable interaction between socio-economic and environmental demands. This warning is especially relevant considering the role that Peru has played in the history of agriculture and that this country is recognized as a center of crop genetic diversity.

KEYWORDS: Andean Crops; Farming Practices; Agrobiodiversity; Land Use Competition; Peru.

ONE SENTENCE SUMMARY: Expanding quinoa production in Peru has accompanied the diminished use of traditional farming practices and indicates increasing competition for land use.

SHORT TITLE: Global quinoa demand challenges land use in Peru.

HIGHLIGHTS:

- (1) We analyzed the changes in land use in Peru during the period from 1995 to 2014.
- (2) The evolution of the new geography of quinoa production in Peru has accompanied a shift away from traditional farming practices.
- (3) A trend towards competition for land use in Andean crop production was identified.

1. INTRODUCTION

When, in 1492, Christopher Columbus set foot in the new lands, which would later be called the Americas, he was disappointed not to find the treasure he was keenly seeking. Eventually, he returned to Spain, had problems with his financial backers, and died a lonely man. Little did he know he was the lead player in a series of events that would transform human eating habits forever. The conquerors that followed him discovered and spread a wide range of agricultural products consumed by the native peoples of the New World that were unknown to Europeans. From the south of Mexico to the Peruvian Andes and to the Mid-Mississippi, the new lands came to provide a wealth of new food products that had been domesticated by the Neolithic peoples who lived there, of particular note among them are: corn, potatoes, cassava, various beans, tomatoes, pumpkin and sunflower (Mazoyer and Roudart, 2006). The widespread and rapid acceptance of these products by Europeans created what today we might call a food hype.

The process of occupying, colonizing and trading in the new lands allowed foodstuffs that had, until then, been isolated on disconnected continents to begin to circulate around the world, thus bringing about a profound transformation of traditions, customs, lifestyles and eating habits on a global scale. If we look back in time, the documented history of agriculture in America shows the Peruvian Andes ranks as one of the original centers of Neolithic agriculture, which emerged independently at least 6,000 years before present (Mazoyer and Roudart, 2006), although it is known that the human cultivation of crops started about 10,000 years ago (Dillehay *et al.*, 2005; Dillehay *et al.*, 2007).

Distinct cultures in Ancient Peru learned to manipulate plants and in the process of experimentation managed to successfully domesticate them in territories with complex topographical and climatic features. All this knowledge of plant manipulation was transmitted over millennia and reached a peak during the Inca Empire, between the 15th and 16th centuries. Today, Peru is recognized as a center of crop genetic diversity (Vavilov, 1951).

In the 500 years following Columbus's discoveries, with the arrival of agricultural products originating from the ancient Fertile Crescent (the Middle-East), such as barley and wheat, competition for land use was unleashed, which led to a dramatic reduction in the production of local crops and the expansion of today's commonly-known agricultural

commodities (Defries *et al.*, 2015). Anonymously, the ancient Andean cultures left a great legacy to the 21st century world in the form of an exceptionally nutritious grain, quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), which has only recently been promoted by health-conscious consumers around the world (Repo-Carrasco *et al.*, 2003; Abugoch, 2009; Nowak *et al.*, 2015). Hence, Peru again emerges as a player in the worldwide food market. Consequently, a question arises regarding the extent to which the growing global demand for quinoa is compatible with the appropriate natural resource management in Peru. To contribute to the search for an answer to this question, this study adopts three analytical dimensions: (i) the evolution of land use for the cultivation of quinoa; (ii) the transformation of agricultural practices; and (iii) the tendency towards competition for land use.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 Data sources

In order to gain a more in-depth understanding of the evolution of quinoa production in Peru, we analyzed data obtained from The Office of Economic and Statistical Studies of the Peruvian Ministry of Agriculture and Irrigation - OEEE-MINAGRI [*Oficina de Estudios Económicos y Estadísticos del Ministerio de Agricultura y Riego del Perú*] regarding production volumes and harvested area (OEEE/MINAGRI, 2015), and from The Integrated Information System on Foreign Trade - SIICEX [*Sistema Integrado de Información de Comercio Exterior*] regarding trade flows (SIICEX, 2015). Given that Peru is divided into 25 political regions, data were collected separately for the quinoa producing regions, 18 in total. Data were also analyzed on the production and acreage of the following neglected crops in Puno region: cañigua (*Chenopodium pallidicaule*) mashua (*Tropaeolum tuberosum*), oca (*Oxalis tuberosa*) and tarhui (*Lupinus mutabilis*) in the period from 1995 to 2014.

That period was chosen for the following reasons: (i) the significant changes that occurred in the Peruvian agricultural sector before the 1990s; for example: regarding land tenure and the institutional framework related to the agricultural sector, etc. (INEI, 1997); (ii)

of the four agricultural censuses conducted to date, the third was published in 1994; (iii) the publication, in 1994, of the book “Neglected crops: 1492 from a different perspective,” which highlighted the native American crops that had been largely marginalized in the last 500 years (FAO, 1994); and (iv) at the time this study was conducted, the most recent data available on quinoa production covered the period until 2014.

2.2 Data Analysis

In order to characterize and visualize the evolution of quinoa cultivation, thematic maps have been designed considering the criteria described below.

All the figures presented here and in the Supplementary Materials were designed using the free R version 3.1.3. statistical software (the R Project for Statistical Computing is available at <https://www.r-project.org/>). For the maps, “rgdal”, “sp” and “sfsmisc” packages were applied. The color palettes for the maps and the intervals for colors were constructed based on quantiles, which provided rough starting points for the intervals. Based on these, the intervals were constructed by the authors.

For each region, the percentage variation is calculated with respect to the previous year, provided the harvested area in the previous year is non-null. If, in the previous year, the harvested area is 0, to avoid division by zero, we calculated the percentage with respect to the last non-null harvested area (as was the case for Ica and Lima). If the harvested area in all previous years was null, then it is not possible to calculate the percentage for the first non-null year and we coded the percentage as null (as was the case for Lambayeque and Tacna).

For each region in Peru, the Supplementary Materials present both the harvested area by year in the period 1995 to 2014 (SM Figure 1 (a)-(c)) and the annual variation in the percentage of harvested area (AVPHA) in the period 1996 to 2014 (SM Figure 2 (a)-(c)).

In addition, descriptive statistics were used to calculate the mean variation in the percentages of harvested production and harvested area of Andean Crops in the Peruvian Andean Plateau.

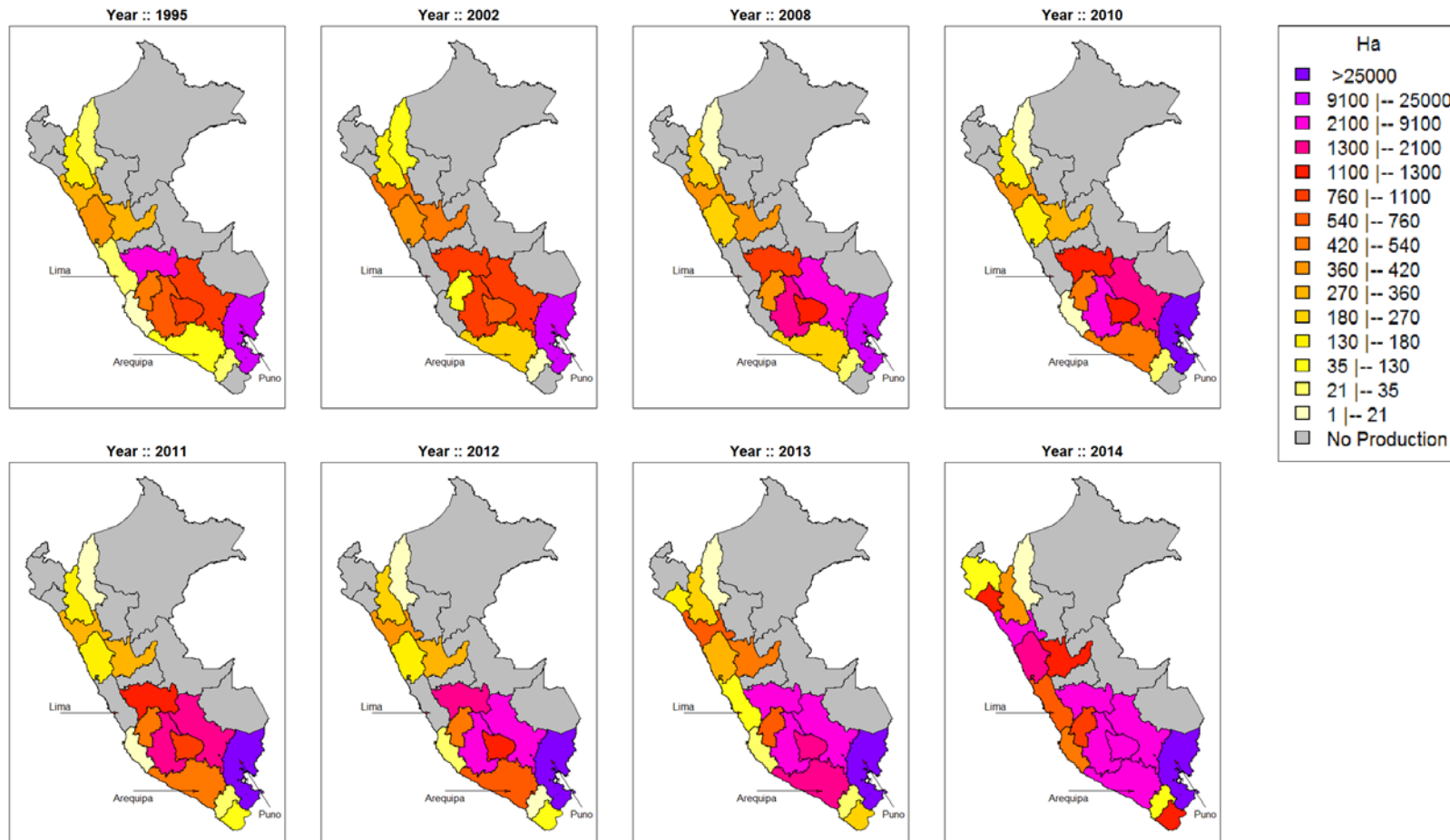
3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1 The evolution of the new geography of quinoa production in Peru in the 21st century

After being ignored for almost five hundred years, quinoa has recently been rediscovered and gained prominence worldwide (UNFAO, 2012). As a result, Peru has undergone a transition from a country producing quinoa predominantly for local consumption to the world's largest producer and exporter of the product (FAOSTAT, 2016). Following 1994, when a list of marginalized foods that had lost importance over the previous 500 years, among them quinoa, was published (Vietmeyer, 1986; FAO, 1994), the increase in production of this grain was steady. However, as from 2008, production volumes rose rapidly, with a massive crop between 2013 and 2014, when there was an increase of 120% in the quantity produced, reaching close to 115 thousand tons, and 52% in the cultivated area, reaching just over 68,000 hectares. Compared to 1995, the amount of quinoa produced in Peru in 2014 was approximately 8 times larger in volume and 4 times greater in the area under cultivation. This spectacular expansion was partially the result of domestic initiatives, such as, the Peruvian Government demanding the inclusion of quinoa in food aid programs. Nevertheless, more decisively, there was an explosion in global demand for the product that led to a boom in quinoa exports, which increased almost 600 times, from little more than 61 tons in 1995 to more than 36,000 tons in 2014 (SIICEX, 2015). Figure 1 shows how land use has changed in Peru in response to the global demand for quinoa from 1995 to 2014.

There is considerable biological diversity of quinoa in the Andean Plateau, especially in the areas surrounding Lake Titicaca in Peru and Bolivia (Mujica *et al.*, 2001; FAO and CIRAD, 2015), which is probably where the crop was first domesticated (Pearsall, 2008). On the Peruvian side, the Puno region is part of the Plateau, located at an altitude around 4000 masl, and is known for producing the largest amount of quinoa in the country. From 2000 to 2010, the region concentrated approximately 81% of national production, but by 2014 that figure had decreased to 32%. This came about because the increased international demand for quinoa led to an expansion in the area under cultivation in other regions, and even to the occupation of areas not previously used for this purpose, mainly on the Peruvian coast.

Fig. 1. The evolution of the new geography of quinoa production in Peru (1995-2014). The increase in the area under cultivation with quinoa in Peru, 264% more than in 1995, is due to an expansion from the high plateau of Puno to coastal regions. Of particular note is the Arequipa region, where the area under quinoa cultivation increased 481% between 2013 and 2014. Thus, Arequipa came to concentrate approximately 30% of the national production, while until 2008 its participation was around 1%. -[See the complete figure in the supplementary materials].



3.2 Transformations of farming practices – from polyculture to monoculture

Although quinoa is able to adapt to the varied agro-climatic conditions on the different ecological levels (altitudes) in Peru, it requires large amounts of nutrients (Mujica *et al.*, 2001). Therefore, appropriate soil management practices are vital for its sustainable production. Thus, quinoa farming has traditionally involved the use of crop rotation. Ideally, crop rotation on the Andean Plateau consists of potato production in the first year; quinoa in the second year; cereals, legumes or tubers in the third year, followed by forage. After which, the land should lay fallow to recover soil fertility. In the coastal regions, the ideal crop rotation sequence is potato-quinoa-cereals (such as corn, wheat) – vegetables – alfalfa (Mujica *et al.*, 2001; FAO and CIRAD, 2015).

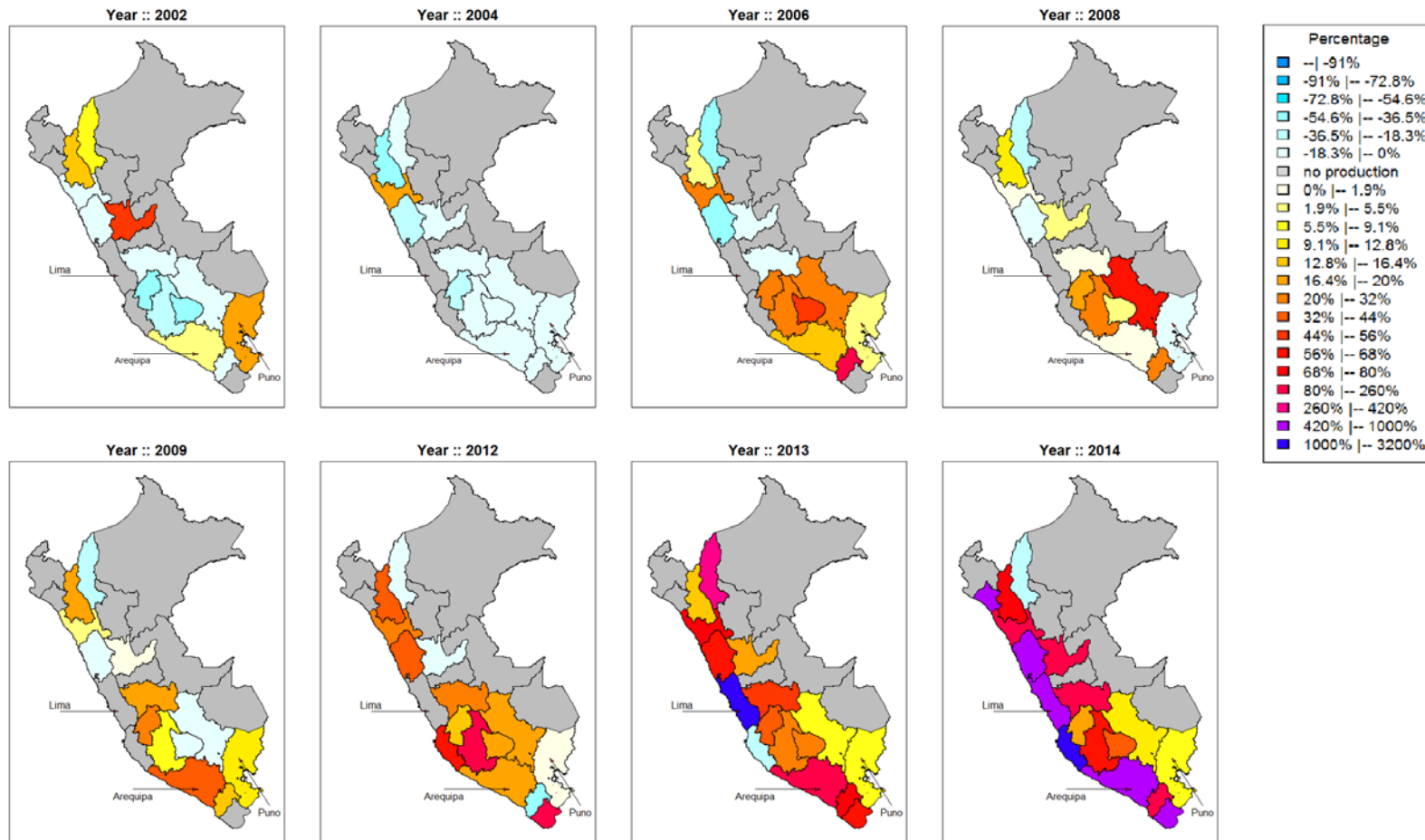
Figure 2 shows the annual variation in the percentage of harvested area (AVPHA) of quinoa between 1995 and 2014, showing the dramatic expansion in recent years, especially since 2012, which may indicate changes are occurring in traditional crop rotation practices. That is, a reduction in the alternating production of other crops in favor of the increased production of quinoa, and/or the substitution of other crops in order to increase the area planted with quinoa — resulting in a more aggressive use of the land. The changes in the area under quinoa cultivation in Puno illustrate the situation. Between 2002 and 2008, the region produced approximately 81% of Peruvian quinoa, but with a mean AVPHA equal to 2.41%. In the period between 2009 and 2013, the region concentrated approximately 72% of the national production with a mean AVPHA equal to 3.5%. In 2014, Puno concentrated only 32% of the national production with an AVPHA equal to 8.0% in relation to 2013. In other words, while the Puno region accounted for a smaller proportion of the domestic quinoa production, the area under quinoa cultivation in the region increased. This expanding variation in the AVPHA could be related to changes in crop rotation practices, represented by the increased frequency of quinoa cultivation. This situation leads to the question - How can Peru produce more quinoa without abandoning its traditional farming practices?

In order for an agrarian system to develop and perpetuate itself, there must be an effective method of renewing soil fertility, which, depending upon the local climate and geomorphology (Mazoyer and Roudart, 2006), is largely determined by the farming practices (Wood *et al.*, 2015). Agricultural practices involving crop combinations and rotation, such as that traditionally practiced in quinoa production, increases the amount of nutrients in the soil,

which reduces degradation (Hooper *et al.*, 2005). Furthermore, when the genetic diversity of the crop species increases, the risk of damage by pests is reduced (Swift *et al.*, 2004). This is crucial for the proper functioning of the ecosystem and its ability to provide services to human well-being, through processes such as: maintenance of soil fertility, control of soil erosion and food production (De Groot *et al.*, 2002).

Today, the farming practices used in the production of quinoa in Peru, especially in the Andean Plateau, reflect a heritage which has endured over time, as its cultivation has been part of specific farming systems since the appearance of the first hydro-agricultural civilizations. Mazoyer and Roudart (2006) show that in the pre-Inca and Inca times, quinoa was part of two farming systems based on crop combination and rotation: (i) in areas located between 2300 and 3500 masl, there was an irrigated system of maize cultivation combined with, for example, quinoa, beans, tarhui in rotation with medium term forage; and (ii) in the Andean Plateau, in areas located between 3500 and 4000 masl, the system was based on the cultivation of potatoes, with, for example, the rotation of potato /tarhui/quinoa/forage for a few years (in the lower elevations), or the rotation of bitter potato/cañigua/forage for a few years (at higher altitudes). Among other functions, forage provided biomass and ensured the fertility of the farmlands.

Fig. 2. The expansion of quinoa production in Peru has accompanied a shift away from traditional farming practices (1995-2014). The AVPHA value indicates the rate of increase in the area cultivated with quinoa: lower values indicate that the increased area was smaller, which is related to the continued use of traditional farming practices (i.e., crop rotation, crop alternation order and time left fallow). This represents a warning regarding the possibility of more aggressive agricultural practices being adopted in the cultivation of quinoa. [See the complete figure in the supplementary materials]. *AVPHA: annual variation in the percentage of harvested area.



3.3 Trend towards increased land use competition for Andean crop production

Among the list of marginalized ancient food crops (FAO, 1994) other Andean crops appeared together with quinoa, for example: grains, such as the cañigua (*Chenopodium pallidicaule*); legumes, such as tarhui (*Lupinus mutabilis*); and tubers such as oca (*Oxalis tuberosa*) and mashua (*Tropaeolum tuberosum*). These crops grow on the high plateau around Puno at similar altitudes to quinoa (FAO, 1994), and, therefore, both share the areas destined to quinoa farming and are part of the traditional crop rotation system. Moreover, these products are of great importance in the diet of the local populations and, for Peruvians, the Puno region is the largest provider of cañigua and oca, the second of mashua and the third of tarhui (OEEE/MINAGRI, 2015). Figure 3 shows the mean annual variations in the percentages of both the harvested production and the harvested area of cañigua, mashua, oca, tarhui and quinoa since 1995.

Production can be seen to have expanded during the first two periods (1995-2001 and 2002-2008). The most notable change occurs in the period 2009-2014 as quinoa continued to expand, while the production and cultivated area of the other products diminished, with the exception of tarhui with a 0.27% increase in the harvest, but no expansion in cultivated area. This pattern can be seen as an indication that the growing international demand for quinoa may be leading to a discrete displacement of the area intended for the production of other crops in the Peruvian Andean Plateau, which would result in the increased use of land for quinoa monoculture. Hence, if, how and to what extent this is socially, economically and environmentally sustainable are questions that need to be urgently answered, especially because quinoa farming in the neighboring Bolivian Andean Plateau has been the subject of considerable controversy (Hellin and Higman, 2005; Jacobsen, 2011; 2012; Winkel *et al.*, 2012). This threat is especially relevant because the Peruvian Andean Plateau is the largest quinoa-growing region in the world and the place of origin of several alternative food crops.

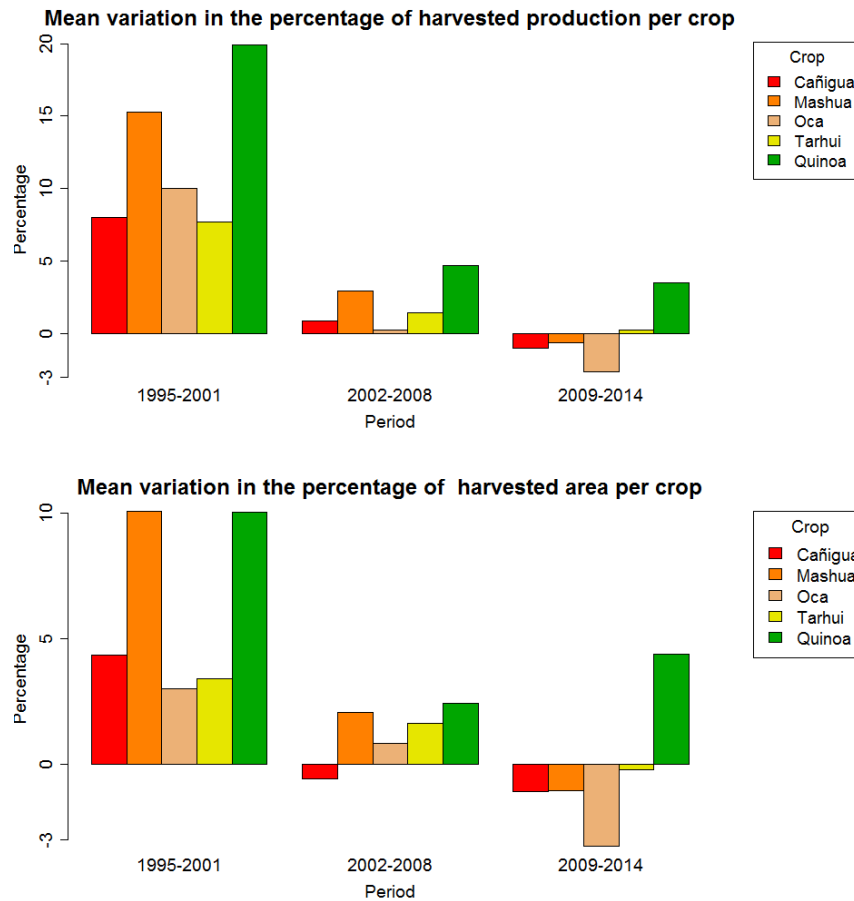
The boom in the demand for quinoa has led to increasingly intensive agriculture and consequently greater competition for land use in Peru (Smith *et al.*, 2010). Furthermore, according to Swift *et al.* (2004), with intensive agriculture, crop diversity is reduced to one

or a few species which, in general, are genetically homogenous, resulting in loss of agrobiodiversity — a term that includes all components of the biological diversity relevant to agriculture and food (Cbd, 2013a, 2013b).

Quinoa, cañigua, tarhui, mashua and oca were part of farming systems developed in this area before the Inca period, when land use and crop domestication were influenced by the great environmental diversity and climate conditions (Hastorf, 2008; Sandweiss and Richardson, 2008; Bush *et al.*, 2015). It should be pointed out that at that time, the agrarian systems varied according to the different bioclimatic zones, systematically organized in a set of agro-ecological zones, each of which involved specific practices. The agrarian system in each zone was very diverse and had an autonomous food base (Mazoyer and Roudart, 2006). Regarding the present, the exclusive location of domesticated food crops at different altitudes within the Peruvian territory was one of the criteria considered in the characterization of land use when geographically classifying the country into natural regions, which consequently influenced the formulation of land use policy (Zimmerer and Bell, 2013). Thus, quinoa, cañigua, tarhui, mashua and oca were considered specific to the area located between 3500 and 4000 masl (Puno region).

For the above reasons, it is important to highlight the current significance of the legacy of past Peruvian civilizations with regard to the domestication of food plants and agricultural practices. Knowledge of the origin and domestication of cultivated plants will be increasingly relevant for the science of sustainability in the coming decades (Larson *et al.*, 2014), as well as for establishing responsibility for the conservation of genetic resources among the nations that benefit from them (Khoury *et al.*, 2016). Accordingly, it is worth mentioning that quinoa is one of the oldest crops in Peru, having first appeared between 8000 and 7500 years B.P., even before the potato and maize (Dillehay *et al.*, 2007).

Fig. 3. The evidence indicating a trend towards increased competition for land use in Andean crop production on the Peruvian Andean Plateau — one of the areas of greatest biological diversity of quinoa on Earth. [See SM table 1 for further details].



4. CONCLUDING REMARKS

In the light of the current boom in the international demand for quinoa, and remembering the FAO's warning that, of the 7000 species of plants used in the history of humanity, today just 30 crops provide 90% of the calories in the human diet, and only three species (rice, wheat and maize) represent more than half of those crops (FAO, 1998), it seems relevant to reflect on the challenges facing public policymakers regarding food

production, trade and environmental changes (Chapin *et al.*, 2000; Lambin and Meyfroidt, 2011; Sakai, 2012).

One of the biggest challenges for the future of global agriculture is how to reconcile food production while minimizing the negative impacts on biodiversity, ecosystem services and society (Hazell and Wood, 2008; Pretty *et al.*, 2010). In the Peruvian case, of particular importance is the role of traditional agricultural practices that favor the conservation of agricultural biodiversity, which is critical to maintaining the function and provision of the services provided by ecosystems (Fischer *et al.*, 2006; Wood *et al.*, 2015), as well as the role of human capital that enables them (Jones *et al.*, 2016). The second report on the state of the world's plant genetic resources shows that the main causes of genetic erosion remain the same as in 1996: the replacement of the local varieties, overexploitation, changing agricultural systems, pests and diseases, among others (FAO, 2010).

The conservation of agricultural biodiversity is important not only in the biological sense, regarding the impact on production, but also from the point of view of food security and nutrition. On the one hand, it allows foodstuffs that are part of the local identity to be preserved for the benefit of populations at the national level. On the other, it helps sustain the small-scale farming that produces and will produce most of Peru's food, since 82% of the existing agricultural units cover less than 5 hectares (INEI, 2012). Several studies have shown that in the coming decades, agricultural food production systems with high levels of diversity, productivity and efficiency will be best able to face the challenges arising due to climate change and provide local and nutritious food (Altieri *et al.*, 2012; Kahane *et al.*, 2013).

The analysis of the implications of changes in land use over time provides important insights into the process of designing strategies to strengthen food security (Rockson *et al.*, 2013) and ecosystem services (Smith, 2013). Although land use competition in Peru is a recent phenomenon, the research findings suggest that crop rotation, which represents one of the fundamental aspects in the production of quinoa and soil conservation and which was widely used in the past, is currently being replaced by a system of ever more intensive farming, with less rest for the soil. Hence, in order to strike a balance between the demand for food and the sustainable use of natural resources (Phalan *et al.*, 2011; Tschardtke *et al.*,

2012; West *et al.*, 2014; Liu *et al.*, 2015) it is necessary to establish a harmonious interaction between socio-economic and environmental demands. As quinoa is a symbol of the importance of promising crops, right now, Peru is facing the challenge of making complex decisions regarding the management of its natural resources in order to maintain its agro-biodiversity in the long term and ensure its food security and sovereignty.

5. SUPPLEMENTARY MATERIALS

- a) SM Figure 1 (a-c): The expansion of quinoa production in Peru by hectares (1995-2014).
- b) SM Figure 2 (a-c): Annual variation in the percentage of harvested area in Peru (1995-2014).
- c) SM Table 1: Mean variation in the percentages of harvested production and harvested area of Andean Crops in the Peruvian Andean Plateau.
- d) External Database 1. Harvested area of quinoa in Peru, by region, 1995-2014.
- e) External Database 2. Harvested area and production of Andean crops in the Puno Region, 1995-2014.

6. ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful to the Brazilian National Council for Research and Development – CNPq (Grant Number: CNPq-306375/2012-5) and CAPES PEC-PG (Grant number: 5898-11-0) for their financial support, and thank Professor A. Mujica from Quinoa Genetic Improvement Program at UNA-Puno and A. Humpire from National Institute of Agricultural Innovation (INIA-EEA Santa Rita-Arequipa-Peru) for their helpful information. The authors are also grateful to Professor S.E. Jacobsen from Faculty of Life Sciences at University of Copenhagen for his valuable comments.

7. REFERENCES

ABUGOCH, L. E. Chapter 1 Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties. **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 58, p. 1-31, 2009.

ALTIERI, M. A.; FUNES-MONZOTE, F. R.; PETERSEN, P. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, n. 1, p. 1-13, 2012.

BUSH, M. B.; MOSBLECH, N. A. S.; CHURCH, W. Climate change and the agricultural history of a mid-elevation Andean montane forest. **Holocene**, v. 25, n. 9, p. 1522-1532, 2015.

CBD. Convention on Biological Diversity. **COP 5 decision V/5. Agricultural biological diversity**, Montreal, Canada, 2013a. Available at: < www.cbd.int/decision/cop/default.shtml >.

_____. Convention on Biological Diversity. **What is agricultural biodiversity?**, Montreal, Quebec, Canada, 2013b. Available at: < www.cbd.int/agro/whatis.shtml >.

CHAPIN, F. S. et al. Consequences of changing biodiversity. **Nature**, v. 405, n. 6783, p. 234-242, 2000.

DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v. 41, n. 3, p. 393-408, 2002.

DEFRIES, R. et al. GLOBAL NUTRITION Metrics for land-scarce agriculture. **Science**, v. 349, n. 6245, p. 238-240, 2015.

DILLEHAY, T. D.; ELING, H. H.; ROSSEN, J. Preceramic irrigation canals in the Peruvian Andes. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 102, n. 47, p. 17241-17244, 2005.

DILLEHAY, T. D. et al. Preceramic adoption of peanut, squash, and cotton in northern Peru. **Science**, v. 316, n. 5833, p. 1890-1893, 2007.

FAO. **Neglected crops: 1492 from a different perspective**. Food and Agriculture Organisation of the United Nations: Plant Production and Protection Series, Rome, Italy, 1994.

_____. **Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture**. Food and Agriculture Organization of the United Nations: Economic and Social Development Department, 1998.

FAO; CIRAD. **State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013**. Food and Agriculture Organisation of the United Nations and Centre for International Cooperation in Agricultural Research for Development. Rome, Italy, 2015.

FAOSTAT. **FAOSTAT database**: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016.

FISCHER, J.; LINDENMAYER, D. B.; MANNING, A. D. Biodiversity, ecosystem function, and resilience: ten guiding principles for commodity production landscapes. **Frontiers in Ecology and the Environment**, v. 4, n. 2, p. 80-86, 2006.

HASTORF, C. A. The Formative Period in the Titicaca Basin. In: SILVERMAN, H. and ISBELL, W.H. (Eds.). **Handbook of South American Archaeology**, Chapter 28, New York, Springer, 2008.

HAZELL, P.; WOOD, S. Drivers of change in global agriculture. **Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences**, v. 363, n. 1491, p. 495-515, 2008.

HELLIN, J.; HIGMAN, S. Crop diversity and livelihood security in the Andes. **Development in Practice**, v. 15, p. 165-174, 2005.

HOOVER, D. U. et al. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. **Ecological Monographs**, v. 75, n. 1, p. 3-35, 2005.

IICA. El Mercado y la Producción de Quinoa en el Perú. In: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA (Ed.). Lima, Perú, 2015. p.172.

INEI. **El Productor Agropecuario: Condiciones de Vida y Pobreza**. Perú: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 1997.

_____. **IV Censo Nacional Agropecuario**. Perú: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2012.

JACOBSEN, S. E. The Situation for Quinoa and its Production in Southern Bolivia: From Economic Success to Environmental Disaster. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 197, n. 5, p. 390-399, 2011.

_____. What is Wrong With the Sustainability of Quinoa Production in Southern Bolivia - A Reply to Winkel et al. (2012). **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 198, n. 4, p. 320-323, 2012.

JONES, L. et al. Stocks and flows of natural and human-derived capital in ecosystem services. **Land Use Policy**, v. 52, p. 151-162, 2016.

KAHANE, R.; HODGKIN, T.; JAENICKE, H. Agrobiodiversity for food security, health and income. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 33, n. 4, p. 671-693, 2013.

KHOURY, C. et al. Origins of food crops connect countries worldwide. **Proceedings of the Royal Society B**, v. 283, n. 20160792, 2016.

KISSINGER, M.; REES, W. E. Importing terrestrial biocapacity: The US case and global implications. **Land Use Policy**, v. 27, n. 2, p. 589-599, 2010.

LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, n. 9, p. 3465-3472, 2011.

LARSON, G. et al. Current perspectives and the future of domestication studies. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 111, n. 17, p. 6139-6146, 2014.

LIU, J. et al. Systems integration for global sustainability. **Science**, v. 347, n. 6225, 2015.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **A History of World Agriculture: from the Neolithic Age to the Current Crisis**. Earthscan, London. 2006a. 496p.

MUJICA, A. et al. **Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro**. Santiago, Chile: FAO, UNA-Puno: 350 p. 2001.

NOWAK, V.; DU, J.; CHARRONDIERE, U. R. Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Food Chemistry**, v. 193, p. 47-54, 2015.

OEEE/MINAGRI. **Series Históricas de Producción Agrícola: Compendio Estadístico**. Office of Economic and Statistical Studies (OEEE) of the Ministry of Agriculture and Irrigation, Lima, Peru, 2015.

PEARSALL, D. M. Plant Domestication and the Shift to Agriculture in the Andes. **Handbook of South American Archaeology**, p. 105-120, 2008.

PHALAN, B. et al. Reconciling Food Production and Biodiversity Conservation: Land Sharing and Land Sparing Compared. **Science**, v. 333, n. 6047, p. 1289-1291, 2011.

PRETTY, J. et al. The top 100 questions of importance to the future of global agriculture. **International Journal of Agricultural Sustainability**, v. 8, n. 4, p. 219-236, 2010.

REPO-CARRASCO, R.; ESPINOZA, C.; JACOBSEN, S. E. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*). **Food Reviews International**, v. 19, n. 1-2, p. 179-189, 2003.

ROCKSON, G.; BENNETT, R.; GROENENDIJK, L. Land administration for food security: A research synthesis. **Land Use Policy**, v. 32, p. 337-342, 2013.

SAKAI, M. Limit consumption to preserve habitats. **Nature**, v. 486, n. 7404, p. 473-473, 2012.

SANDWEISS, D. H.; RICHARDSON, J. B. Central Andean Environments. In: SILVERMAN, H. and ISBELL, W.H. (Eds.). **Handbook of South American Archaeology**, Chapter 6, New York, Springer, 2008.

SIICEX. **Integrated Information System on Foreign Trade**, Lima, 2015.

SMITH, P. Delivering food security without increasing pressure on land. **Global Food Security-Agriculture Policy Economics and Environment**, v. 2, n. 1, p. 18-23, 2013.

SMITH, P. et al. Competition for land. **Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences**, v. 365, n. 1554, p. 2941-2957, 2010.

SWIFT, M. J.; IZAC, A. M. N.; VAN NOORDWIJK, M. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes - are we asking the right questions? **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 104, n. 1, p. 113-134, 004.

TSCHARNTKE, T. et al. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. **Biological Conservation**, v. 151, n. 1, p. 53-59, 2012.

UNFAO. UN General Assembly. Resolution adopted by the General Assembly on 22 December 2011. **International Year of Quinoa, 2013**. UN Document A/RES/66/446. 2012.

VAVILOV, N. I. **Variation, Immunity and Breeding of Cultivated Plants**. Waltham, MA: Chronica Botanica Co., 364, 1951.

VIETMEYER, N. D. Lesser-known plants of potential use in agriculture and forestry. **Science**, v. 232, n. 4756, p. 1379-1384, 1986.

WEST, P. C. et al. Leverage points for improving global food security and the environment. **Science**, v. 345, n. 6194, p. 325-328, 2014.

WINKEL, T. et al. The Sustainability of Quinoa Production in Southern Bolivia: from Misrepresentations to Questionable Solutions. Comments on Jacobsen (2011), J. Agron. Crop Sci. 197: 390-399). **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 198, n. 4, p. 314-319, 2012.

WOOD, S. A. et al. Functional traits in agriculture: agrobiodiversity and ecosystem services. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 30, n. 9, p. 531-539, 2015.

ZIMMERER, K. S.; BELL, M. G. An early framework of national land use and geovisualization: Policy attributes and application of Pulgar Vidal's state-indigenous vision of Peru (1941-present). **Land Use Policy**, v. 30, n. 1, p. 305-316, 2013.

8. APPENDICES

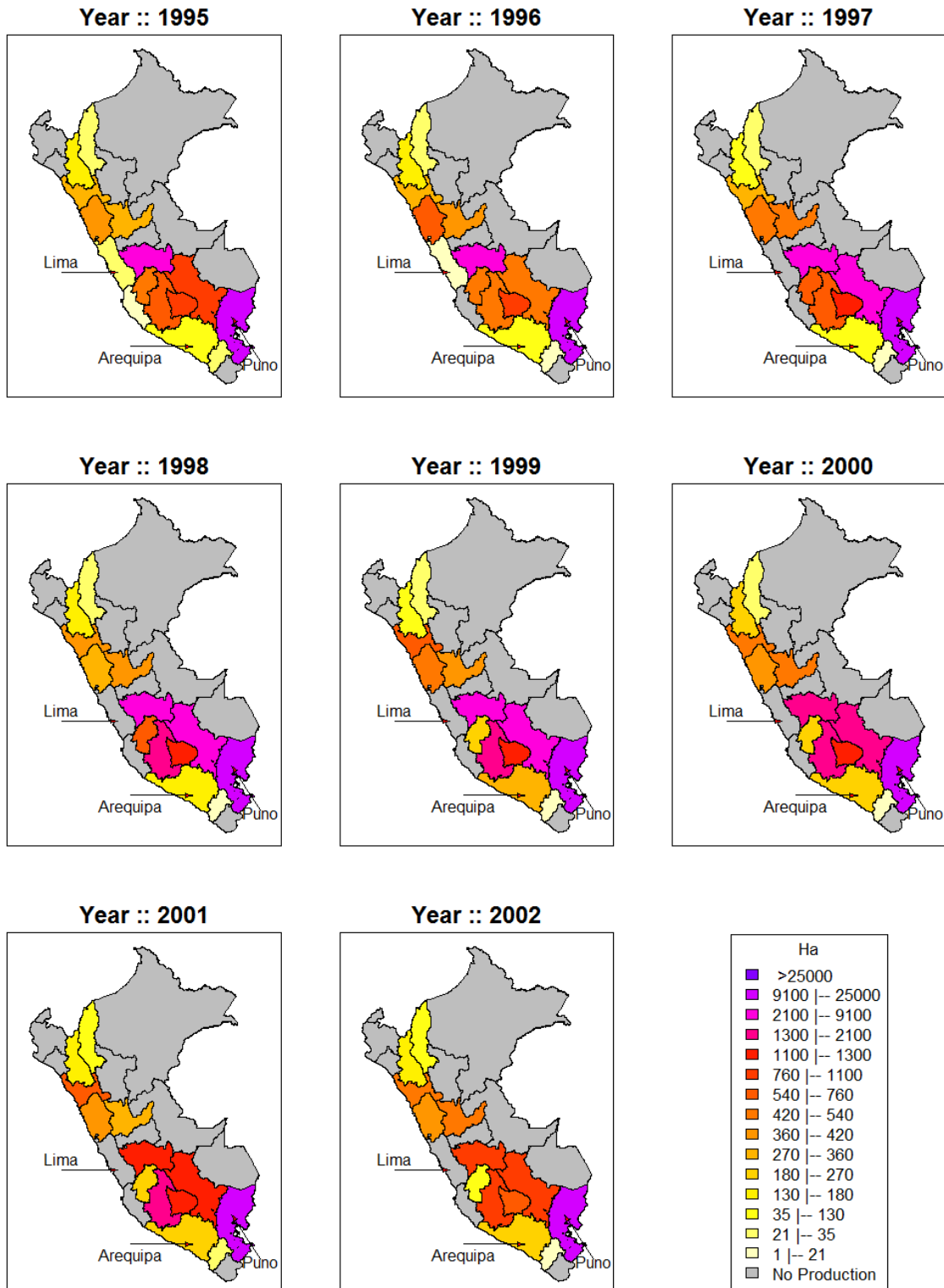
Supplementary Information Guide

This PDF file includes:

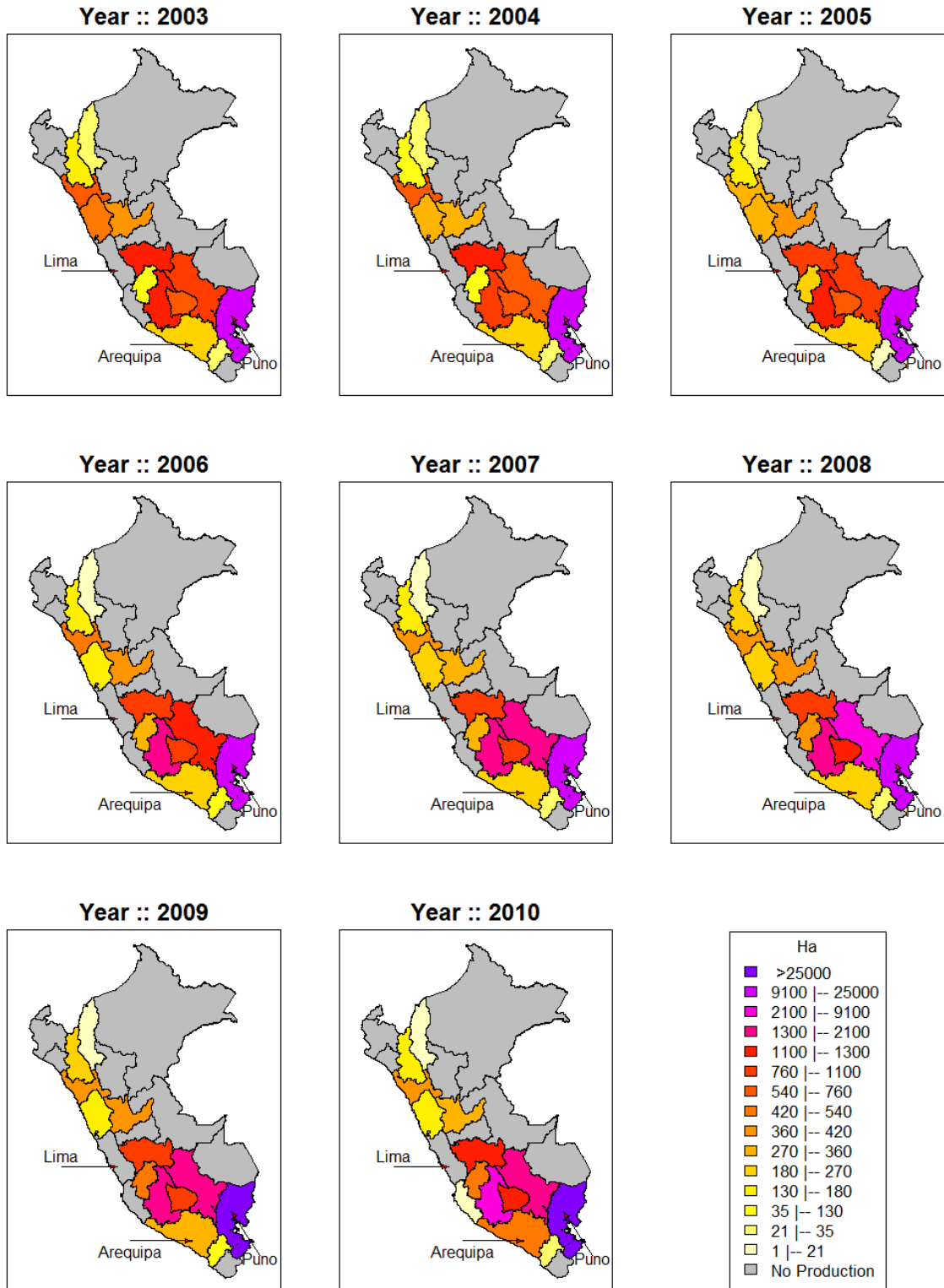
1. SM Figure 1 (a-c): The expansion of quinoa production in Peru by hectares (1995-2014).
2. SM Figure 2 (a-c): Annual variation in the percentage of harvested area in Peru (1995-2014).
3. SM Table 1: Mean variation in the percentages of harvested production and harvested area of Andean Crops in the Peruvian Andean Plateau.

SM Figure 1. The expansion of quinoa production in Peru by hectares (1995-2014).
 Source: prepared by the authors based on OEEE/MINAGRI (2015).

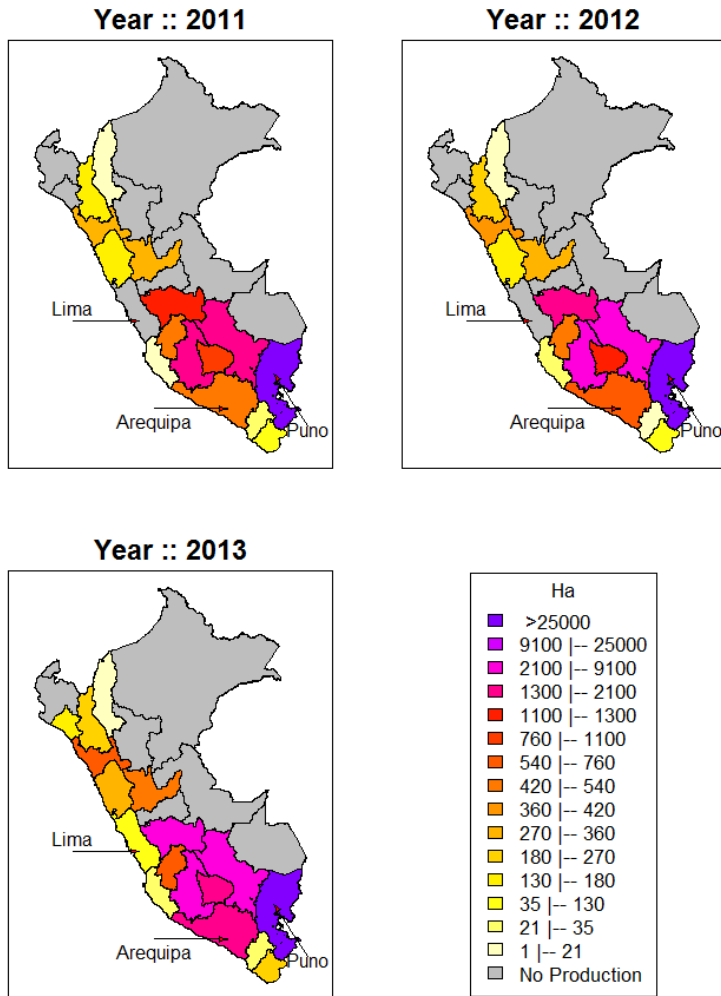
SM Figure 1 (a): 1995-2002 period



SM Figure 1 (b): 2003-2010 period

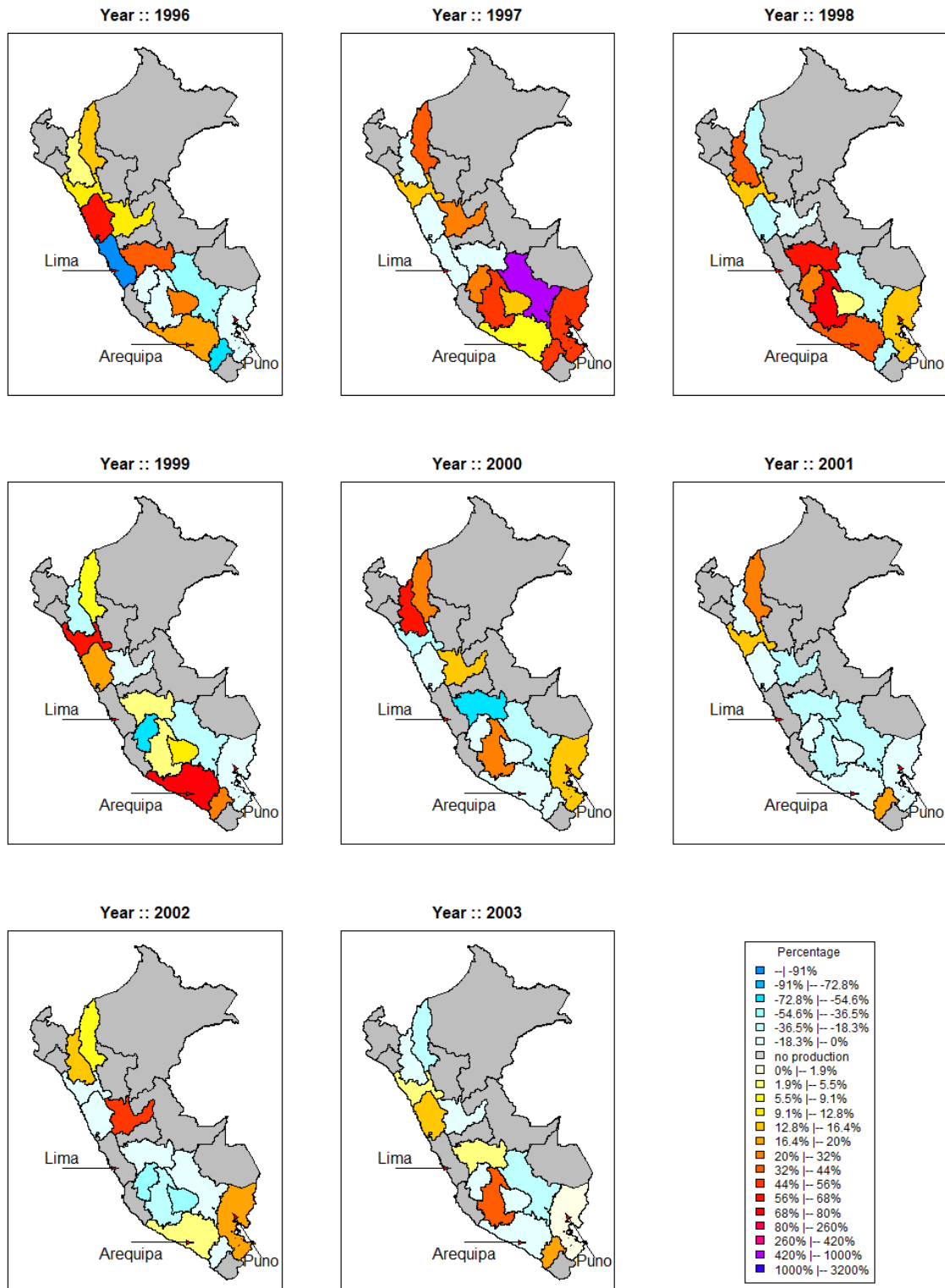


SM Figure 1 (c): 2011-2014 period

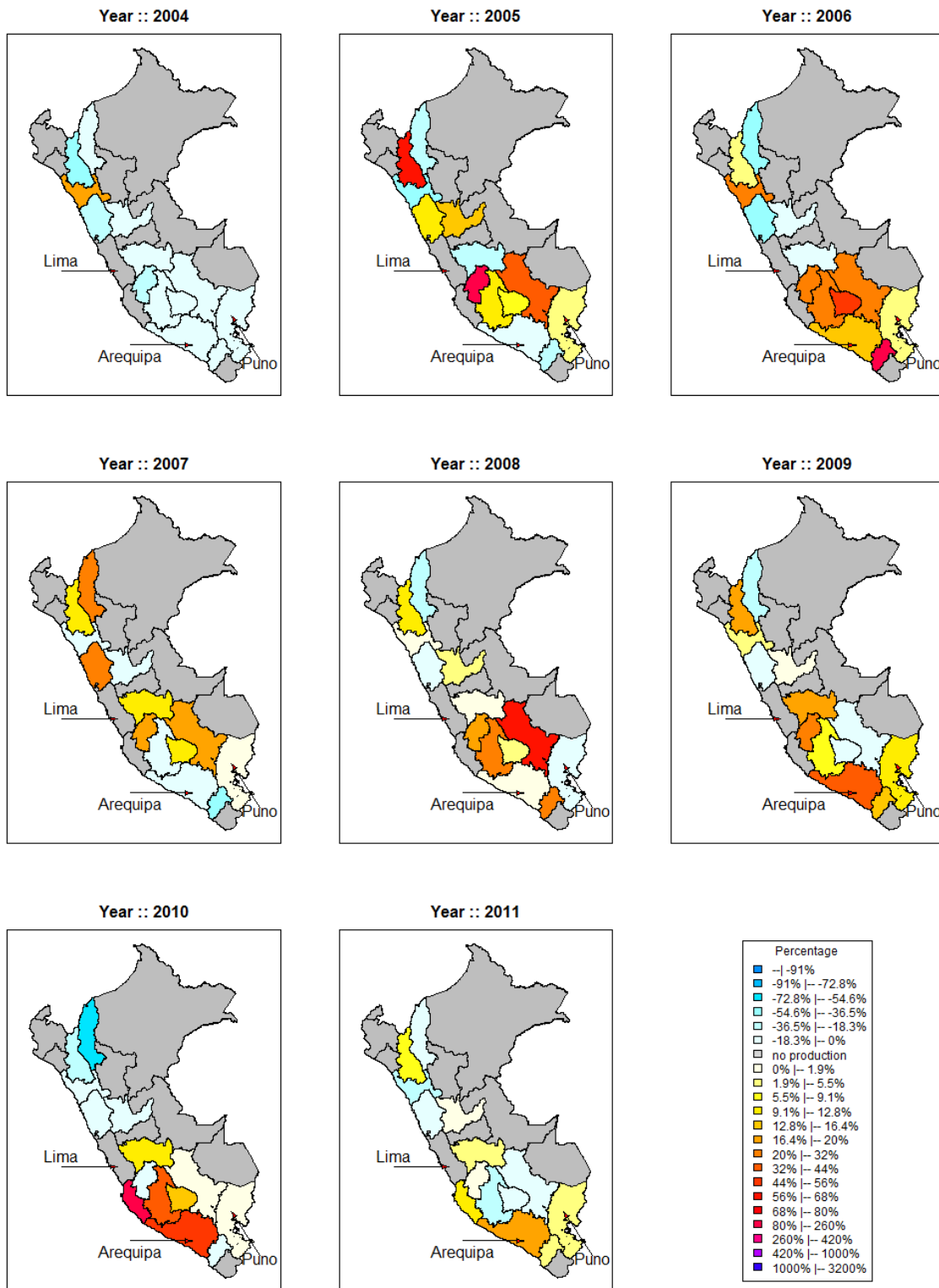


SM Figure 2. Annual variation in the percentage of harvested area in Peru (1995-2014). Source: prepared by the authors based on OEEE/MINAGRI (2015).

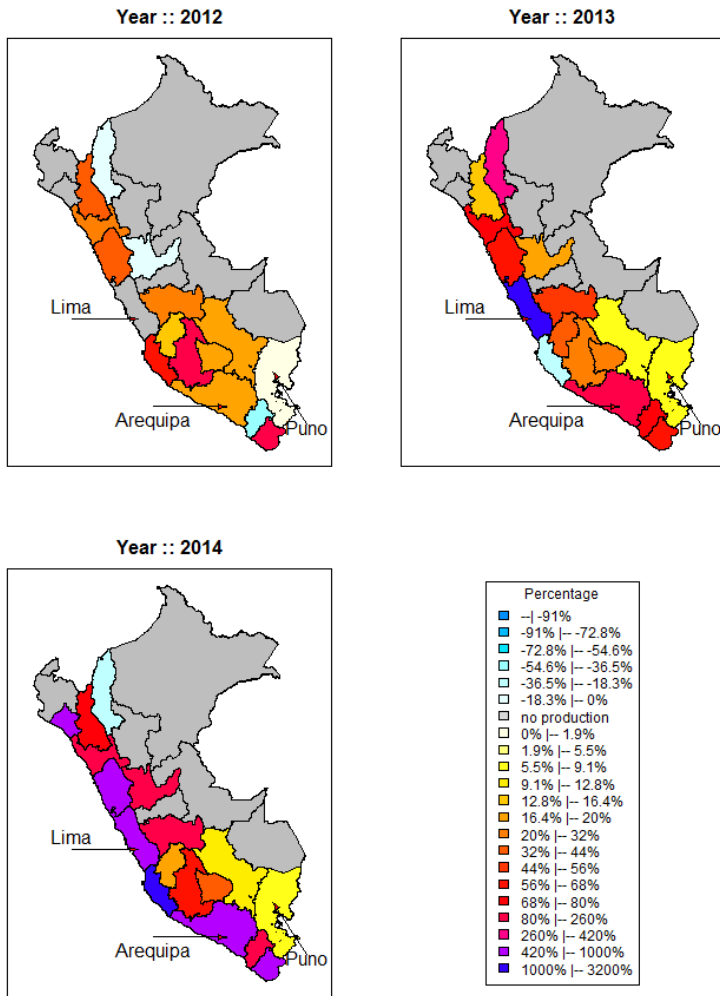
SM Figure 2 (a): 1996-2003 period



SM Figure 2 (b): 2004-2011 period



SM Figure 2 (c): 2012-2014 period



SM Table 1. Mean variation in the percentages of harvested production and harvested area of Andean Crops in the Peruvian Andean Plateau. Source: prepared by the authors based on OEEE/MINAGRI (2015).

PERIOD	CAÑIGUA	MASHUA	OCA	TARHUI	QUINOA
Variation in Harvested Production					
1995-2001	8.00	15.25	9.99	7.72	19.90
2002-2008	0.87	2.93	0.28	1.45	4.69
2009-2014	-1.02	-0.63	-2.62	0.27	3.53
Variation in Harvested Area					
1995-2001	4.32	10.05	2.99	3.41	10.01
2002-2008	-0.59	2.04	0.84	1.61	2.41
2009-2014	-1.08	-1.05	-3.26	-0.23	4.39

CHAPTER III**EXPANSION OF QUINOA PRODUCTION AND LAND USE COMPETITION IN
PERU: IMPLICATIONS FOR LAND USE MANAGEMENT⁸**

**Noelia S. Bedoya-Perales^{1,*}, Guilherme Pumi², Angel Mujica³, Edson Talamini^{1,4},
Antonio Domingos Padula^{1,5}**

Affiliations:

¹ Federal University of Rio Grande do Sul, Center for Study and Research in Agribusiness.

² Federal University of Rio Grande do Sul, Statistics Department.

³ National University of the Altiplano, Post-Graduate School, Quinoa Genetic Improvement Program.

⁴ Department of Economics.

⁵ School of Management.

* Corresponding author: Av. Bento Gonçalves 7712, Agronomia, CEP 91540-000, Porto Alegre, RS, Brazil. E-mail address: noelia.bedoya@gmail.com (N.S. Bedoya-Perales).

⁸ This article will be submitted to the journal Global Environmental Change.
<http://www.journals.elsevier.com/global-environmental-change>

ABSTRACT

Today, Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) can be considered a modern ‘supercrop’ and Peru is the world’s largest producer, accounting for about 60% of the total production. However, little is known regarding the changes in land-use the country has experienced as a result of the boom in the global demand for quinoa and the Peruvian exports (from 61.0 tons in 1995 to 36,000 tons in 2014). This study describes and analyzes the expansion of quinoa farming in Peru in the period 1995-2014. Exponential smoothing was used to forecast what the acreage expansion rate would have been if the boom had not occurred. The results show the acreage under quinoa in Peru changed dramatically from 2009 and especially, in 2014. The quinoa boom was responsible for an increase of 43% in the number of hectares planted with quinoa in 2014, in relation to the number predicted if there had been no boom. The quinoa boom provoked an acceleration of production in traditional quinoa farming areas and the extension of this activity to new regions. The consequences of the increased demand for quinoa from the international market, as from 2008, are already apparent in the land-use changes seen in Peru, namely the: i) displacement, ii) rebound, and iii) cascade effects. By offering a perspective on the link between the intensification of international trade in quinoa and the expansion of the planted area in Peru, this study contributes to the literature regarding the consequences of land-use change on the sustainability of agrobiological systems. An understanding of the processes involved in direct or indirect land-use changes due to trade is crucial so that decision makers in Peru, who are responsible for managing natural systems, can ensure the long-term sustainability of agricultural production in that country.

KEYWORDS: International Trade, Land-Use Competition, Displacement Effect, Rebound Effect, Cascade Effect, Sustainability.

HIGHLIGHTS:

(1) The quinoa boom began in 2009 and provoked an unprecedented expansion in production in Peru in 2014;

- (2) If the quinoa boom had not occurred, the planted area of quinoa would have been 43% smaller in 2014;
- (3) The Peruvian Government's efforts to promote quinoa production domestically were crucial to the new-found worth of the crop;
- (4) Displacement and rebound effects of land-use changes have been identified; and,
- (5) The cascade effects that accompany the expansion of quinoa farming exert pressure on the soil ecosystem.

1. INTRODUCTION

One of the various approaches adopted in investigating the globalization of agriculture is concerned with when and how the production of internationally marketed foods is increased in response to changes in dietary patterns among populations (Von Braun and Diaz-Bonilla, 2008). An example of this is the explosion in global demand for quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.), or the quinoa boom, which is the process by which this pseudocereal, which was previously considered an NUS (Neglected and Underutilized Species), has become one of the most promising food products in the world in the 21st century (UNFAO 2012), due to its exceptional nutritional value (Repo-Carrasco *et al.*, 2003; Abugoch, 2009; Nowak *et al.*, 2015).

The relationship between international trade and the globalization of agriculture has received increasing attention from researchers and public policy makers because of the challenge it represents to the proper use of finite natural resources, such as land and water, especially in developing countries (Kissinger and Rees, 2010; Lambin and Meyfroidt, 2011; Lenzen *et al.*, 2012; Yu *et al.*, 2013; Kastner *et al.*, 2014). This issue is even more current and relevant given that land-use change is a fundamental driver of global environmental change and sustainability (Turner *et al.*, 2007; UNFAO, 2015) and a central element in the effort to ensure global food security (Verburg *et al.*, 2013). In this context, the present study presents and discusses issues raised as a result of the quinoa boom

regarding trends in land-use change in Peru, which, as from 2014, has become the world's largest producer of quinoa.

Because Peru is home to an extraordinary wealth of genetic resources of great importance to agriculture and food production (Vavilov, 1951; Dillehay *et al.*, 2007, Pearsall, 2008), land-use issues have become a central concern in the country. According to the Peruvian Ministry of Environment, approximately one third of the country's surface is in some state of desertification, being either 'desertified' or in the process of 'desertification', mainly due to salinization and soil erosion (MINAM, 2011a). Added to this is the fact most of the Peruvian territory is categorized as either 'very highly vulnerable' or 'extremely vulnerable' to climate change, disaster and food insecurity (WFP, 2014). Therefore, the starting point of this study was to describe and analyze how the Peruvian and international markets for quinoa have evolved over time, in terms of production, trade and land-use. After which, the hypothetical case of the non-occurrence of the quinoa boom was considered by asking the following question: If the quinoa boom had not occurred, what would have been the pattern of land-use in Peru? Based on the typology proposed by Lambin and Meyfroidt (2011), regarding the effects of globalization on land-use change, three concepts that have guided the conduct of this research: the displacement, rebound and cascade effects, are identified and discussed.

2. METHODOLOGY

2.1. Data collection

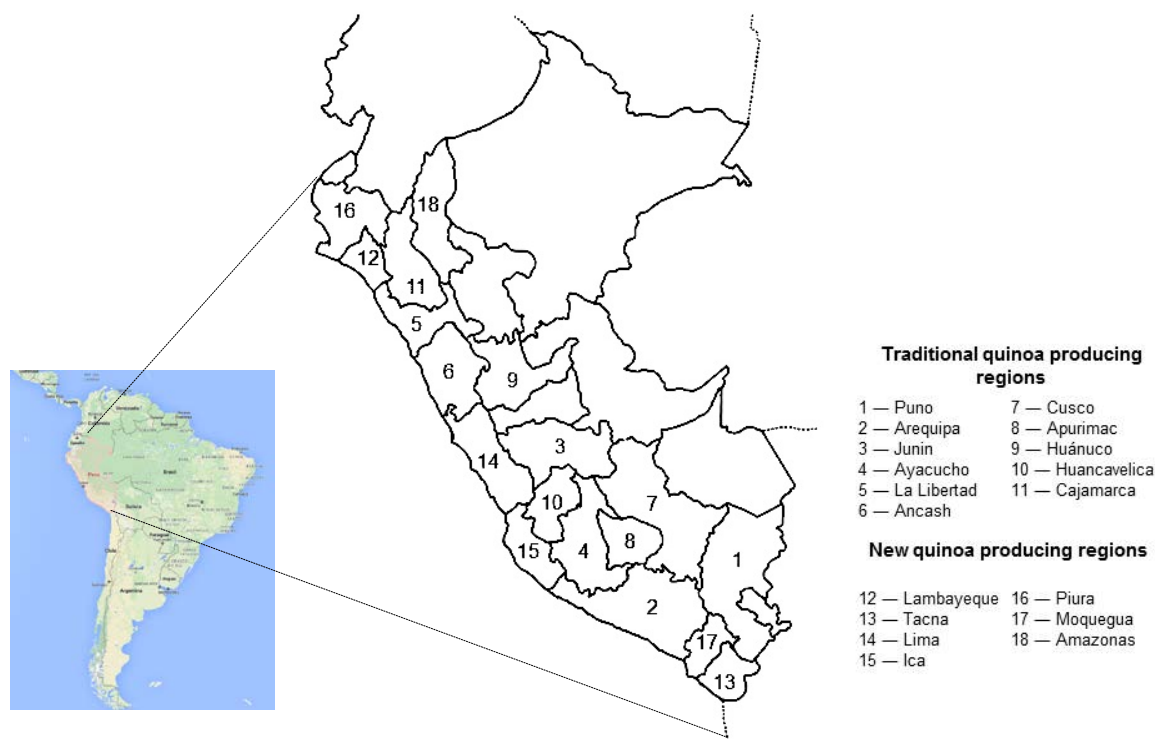
Data referring to the production and acreage of different crops were obtained from The Office of Economic and Statistical Studies of the Peruvian Ministry of Agriculture and Irrigation-OEEE-MINAGRI [*Oficina de Estudios Económicos y Statistical del Ministerio de Agricultura y Riego del Perú*] (OEEE/MINAGRI, 2015). Data related to trade flows

were obtained from the Integrated Information System on Foreign Trade-SIICEX [*Sistema Integrado de Información de Comercio Exterior*] (SIICEX, 2015).

The analysis covers the period from 1995 until 2014. 1995 was adopted as the base year due to the availability of data on the SIICEX records and because, of the four agricultural censuses conducted in Peru to the present, the third census was published in 1994 (INEI, 1994). The most recent available information is from 2014.

The data were collected separately for the 18 regions producing quinoa in 2014 (see Figure 1). Among them are the traditional producer-regions (in which quinoa was produced before the boom) and the 7 new producer-regions (that have emerged since the quinoa boom).

Fig. 1. Map of Peru showing the studied areas and potential agro-ecological zones for quinoa farming



In Peru, there are five sub-centers, defined according to the genetic diversity of the quinoa germplasm collected in the country. One sub-center is located in the Puno Altiplano (1), which is home to the greatest genetic diversity; and the other four sub-centers are located in the Interandean Valleys in the regions of Junin (3), Cuzco (7), Ayacucho (4) and Apurimac (8) (INIA and FAO, 2015).

2.2. Data analysis

Two statistical approaches, principal component analysis (PCA) and exponential smoothing were applied in the data analysis.

In the first analysis, the data were divided into groups in order to explore the evolution of the quinoa boom in Peru by periods. The variables acreage and quantity of exported quinoa, were used.

Exponential smoothing was used to analyze the data on the annual expansion rate of the acreage of quinoa, by region (traditional producing regions). For this, the following methodology was used: first, an exponential smoothing model was applied to data from 1995 to 2008. The idea was that the model would capture the expansion pattern of the acreage of quinoa before the quinoa boom in Peru, which began in 2009. Based on that model, the expansion rate of the acreage of quinoa for the period from 2009 until 2014 was predicted. That prediction represents an estimate of what the expansion rate of the acreage of quinoa would have been if the quinoa boom had not occurred, while assuming other variables such as climate and yield, etc. remained constant. The predicted expansion rate is referred to as the 'natural expansion' of the acreage of quinoa. The predictions were compared with the observed values in order to determine the difference between the predicted expansion rate (PER) and the observed expansion rate (OER) of the acreage of quinoa.

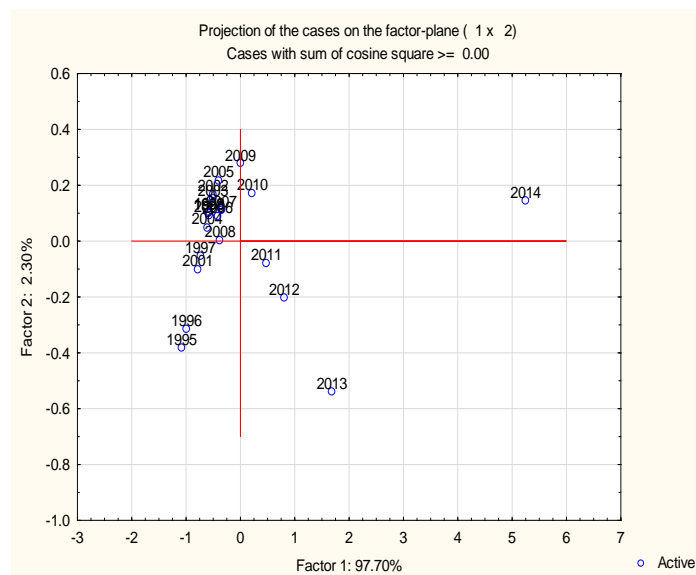
The study cut-off point was 2008, and the PERs were compared with the OERs for the 2009-2014 period. One exception was the data series for the Junin region, which showed a structural decrease in period from 1995 to 2000. This structural decrease is represented by a sudden change in the pattern of the series before and after 2001, which prevents any minimally faithful adjustment from being made in the pattern of the series in the whole period. Thus, the model was adjusted considering only the period 2001-2008, giving an effective sample size of 8 observations. Due to these aspects, the results for Junin should be analyzed separately. In all cases, Holt's adjustment was used (for more details see Gardner Jr., 1985; 2006).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. A temporal analysis of the quinoa production in Peru in response to global demand

The principal component analysis (PCA), presented in Figure 2, shows the division of the data in groups: the acreage and exported quantity of quinoa in Peru.

Fig. 2. Principal component analysis (PCA) applied to the acreage and exported quantity of quinoa in Peru by year. The figure shows the difference in the behavior of variables over the years, notably for the year 2014. This can be seen in the relative position of the year in relation to the factor 1 axis. The vertical line shows where the pattern of the series began to change. Four groups are considered: 1995-2001, 2002-2008, 2009-2013 and 2014.



In Figure 2, a difference in the pattern of the variables can be seen to start in 2009. The differentiation intensifies over the years, with the behavior in 2014 being particularly noteworthy. This event is associated with the beginning of the quinoa boom in Peru, which was a response to the convergence between increased domestic production and international demand in 2009.

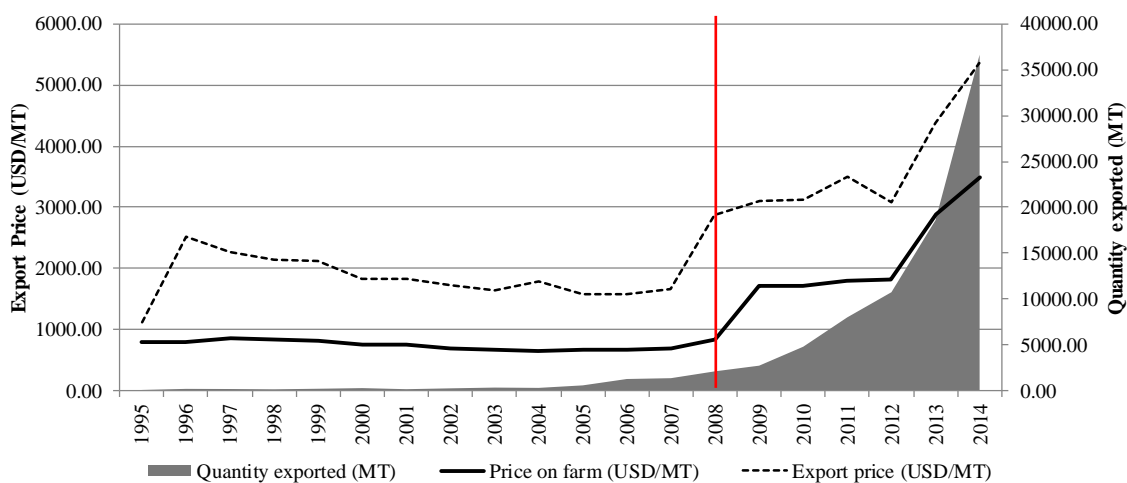
At the domestic level, the consumption of quinoa passed through a transition phase, from being a little-valued crop for decades to achieving prominence in the 21st century. Among the explanations for the prolonged marginalization of quinoa, even among the Peruvian population in general, one can mention the lack of knowledge regarding its nutritional value, the preference for wheat-derived products and discrimination arising from the association of its consumption with the poorest segments of society (Mujica, 1994). Nevertheless, while lacking notoriety, quinoa was thought to have great potential for human agriculture and food (Vietmeyer, 1986; Mujica, 1994), because its importance in ensuring the food security of the pre-Inca and Inca societies was not unknown (Mazoyer and Roudart, 2006). The increase in the yield and acreage of quinoa in the 1990s can be credited primarily to the Peruvian government which, within the framework of policies designed to reduce poverty, fomented food assistance programs. The increase in production in the period is also contributed to the increased value attributed quinoa as food among the population.

In 1994, the direct purchase of Andean agricultural products from small farmers was authorized for the first time (Regulation DS No. 029-94-PCM and RM No. 114-94-PRES, of the National Food Support Program - *Programa Nacional de Apoyo Alimentario PRONAA*), with quinoa being one of those products. Hence, in the following years, the Peruvian government became a major buyer of quinoa, thus enabling and promoting the expansion of the acreage. Analysis of the historical series of agricultural production shows the area planted with quinoa was 47% smaller in the 1980s than that in the following decade (OEEE/MINAGRI, 2015). However, the food assistance programs further favored quinoa farming as from 2008, when Law No. 27060 was passed, which specifically encouraged the social inclusion of local small quinoa farmers (Regulation DS N ° 005-2008 -MIMDES). Thus, in 2008, the expansion in the acreage was 1.7 times greater than in that in 1995, with an expansion rate of 5%, while the production doubled with a growth rate of

8%. Since then, although changes have taken place at the institutional level, with the restructuring of food aid programs in 2012, the state still strongly promotes quinoa production in different regions of the country for this purpose (e.g.: National Program School Food *Qali Warma* (DS No. 008-2012-MIDIS), Social Development Cooperation Fund *Fondo de Cooperación para el Desarrollo Social* - FONCODES, *Cuna más* National Program).

The importance of the period beginning 2009 can also be seen in the export volumes of Peruvian quinoa (Figure 2).

Fig. 3. Export volumes and prices of Peruvian quinoa and the price paid to the farmer (1995-2014). Source: Based on OEEE/MINAGRI (2015); SIICEX (2015). * The prices were deflated for December 2014.



The amount of quinoa produced increased in proportion to the quantity marketed internationally. It can be seen that between 2008 and 2014 the export volume increased approximately 18 times, while the price increased approximately twofold. In this context, the United States was the main importer of Peruvian quinoa, and between 1995 and 2014 concentrated, on average, 60% of the total quantity exported; although in recent years

imports by Canada, the United Kingdom and the European Union countries, mainly the Netherlands, Germany, Italy and France have increased their imports (see the historical series (see the historical series (SIICEX, 2015)). This growth in the international demand for quinoa may be related to the health concerns of consumers in developed countries, since they are increasingly seeking functional, nutritious and highly beneficial foods (Siro *et al.*, 2008; Grunert, 2010).

Looking at Figures 2 and 3, it can be seen that 2014 represents the start of a period of unprecedented growth in production and exports, with a variation of approximately 120% and 97%, respectively, compared to 2013. There was also an increase in the price paid to farmers and the export price, of approximately 21% and 22%, respectively. Certainly this was influenced by the events of 2013, which was declared the ‘International Year of Quinoa (IYQ)’⁹, by the United Nations General Assembly (UNFAO, 2012).

In Appendix 1 of the document published by the Peruvian Ministry of Agriculture (MINAGRI, 2014) there is a detailed list of the activities carried out by Peruvian government institutions to promote Peruvian quinoa at the domestic level in following the IYQ (e.g. boosting research and launching new varieties of quinoa, drafting laws on food and nutritional security, promoting food fairs and partnerships with renowned chefs, etc.) and at the international level (e.g. promoting seminars, festivals, conferences, trade fairs and business encounters, etc.). The result of these actions was made apparent in the increasing *per capita* consumption of quinoa among the Peruvian population, which, according to MINAGRI (2015), increased 129% in the period from 2000 to 2014, from 1.10 kg/person to 2.54 kg/person.

Therefore, the incentives provided by the Peruvian government to increase the production of quinoa, especially from 2008, were successful, as they brought about a change in the pattern of production, which also made it possible to meet the international demand. Internally, while Peru has strongly encouraged the export of fresh food in recent years, no other foodstuff has demonstrated rates of growth in production as radical as those

⁹ The main objective of the implementation of the IYQ was to focus world attention on the role that quinoa biodiversity can play, owing to the nutritional value of quinoa, in providing food security and nutrition and in the eradication of poverty in support of the achievement of the internationally agreed development goals, including the Millennium Development Goals (UNFAO, 2012).

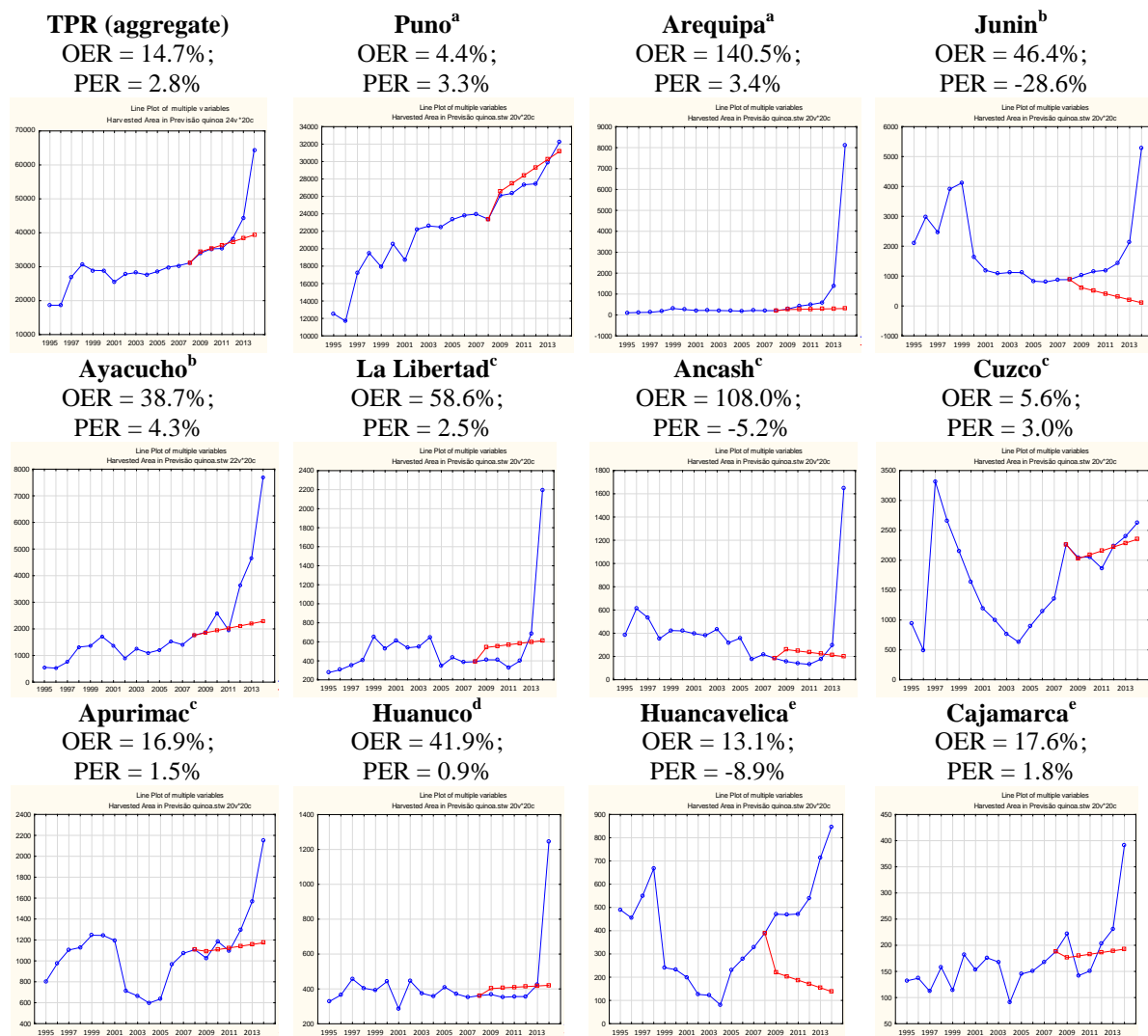
of quinoa, which at the same time, is an example of the recovery of a neglected and underutilized species (NUS). Thus, it seems both timely and necessary to describe and analyze the changes in land-use that have accompanied the expansion of quinoa farming. Below, there is an examination of the impact of the quinoa boom in relation to the trends in the use of agricultural land in Peru and their implications.

3.2. Quinoa expansion in Peru and its implications in land-use

The increasing global demand for quinoa has led to the restructuring the use of productive land in Peru, as presented in Figure 4, which shows the pattern of expansion of the acreage under quinoa in the 11 traditional producing regions in the period 1995-2014 considering two variables: the observed expansion rate (OER) and the predicted expansion rate (PER). The PER reflects the predicted expansion rate of the acreage of quinoa in Peru considering the pattern seen in the pre-boom period of 1995-2008. Note the difference in the patterns of expansion that followed both variables. As from 2009, the average values of OER and PER were 16.23% and 2.76%, respectively. This shows that the expansion of the acreage with quinoa in these regions would have been lower than the observed behavior, if there had been no boom in the demand for quinoa.

The expansion rate varied among the geographic regions due to the new land-use trends in Peru, which are being shaped according to the market demand for quinoa. Since the quinoa boom is a relatively recent phenomenon, it is important to analyze the implications for land-use arising from the expansion of the acreage. This is especially relevant because Peru is the largest producer of quinoa and has its agriculture based on small-scale production, since approximately 82% of the existing agricultural units in the country cover less than 5 hectares (INEI, 2012). Given that land-change science is an interdisciplinary field (Munroe *et al*, 2014), the analysis is based on contributions from Lambin and Meyfroidt (2011), who, in addressing the influence of globalization on land-use change, explore three phenomena, namely: the displacement, rebound and the cascade effects.

Fig. 4. The observed expansion of the acreage of quinoa vs. the predicted expansion in the traditional producing regions (TPRs) of Peru (1995-2014). The blue lines represent the observed expansion rate (OER) and the red lines represent the predicted expansion rate (PER) of the acreage of quinoa. The PER represents an estimate of what the expansion in the acreage of quinoa would have been as from 2008-2009, if there had been no quinoa boom in 2008-2009. The regions considered concentrate the largest part of the area occupied by quinoa in the country. * Production volume ^a > from 30000 MT; ^b 10000-30000 MT; ^c 3000-10000 MT; ^d 1000-3000 MT; ^e < from 1000 MT.



Displacement is related to the migration of activities from one place to another in a manner that brings about land-use changes in new locations. The second phenomenon,

rebound, relates land-use changes with the measures taken to increase the efficiency of production, whether by the use of technology or an increase in the number of companies. Finally, the third phenomenon, the cascade effect, is a chain of events caused by a disturbance that affects the land system as a result of the substitution of areas for the production of other crops in specific agro-ecological conditions or land conversion, thus leading to additional environmental effects that are not immediately measurable.

The first phenomenon, displacement, may be associated with the quinoa boom given the speed of the increase in production in Peru to meet global demand, resulting in the expansion of the acreage in traditional producing regions as well as in the expansion in the Peruvian coastal regions, where quinoa has been introduced thanks to its adaptability and tolerance of extreme environments, such as saline soils and temperatures of up to 38° C (INIA and FAO, 2015).

As can be seen in Figure 4 and Table 1, in view of the quinoa boom, the Arequipa region stands out because it largely meets demand, with an average expansion rate of 123% in the acreage between 2008 and 2014, but the magnitude of its importance is even greater if we consider this means an increase of 7773% in the acreage, compared to the year 1995. This extraordinary expansion meant that while in 2008 it accounted for approximately 1%, of national production, by 2014 that figure was 30%.

Table 1. Change in the expansion rate of the acreage, yield and market share, by period, in traditional quinoa farming regions in Peru

Production volume in 2014 (MT)	Region	Variation in acreage (%)			Yield Kg/ha Variation %			Share of national production (%)		
		2002-2008	2009-2013	2013-2014	2002-2008	2009-2013	2013-2014	2002-2008	2009-2013	2013-2014
	Peru (Total)	1.91	7.33	51.85	1041.00 1.51	1158.40 0.09	1681.00 44.66	100	100	100
> de 30000	Puno	0.89	3.50	7.95	1064.71 1.78	1137.20 -4.66	1121.00 14.25	81.2	72.2	31.6
	Arequipa	-0.71	55.31	481.29	1317.00 4.37	2379.60 24.57	4086.00 7.03	0.9	3.9	28.9
10000-30000	Junin	-2.69	21.27	146.89	1291.86 -0.25	1424.00 7.70	1998.00 10.94	4.1	4.5	9.2
	Ayacucho	13.39	32.03	65.40	873.00 1.96	962.00 6.23	1341.00 26.78	3.8	6.5	9.0
3000-10000	La Libertad	-1.76	18.36	219.65	732.86 7.61	1214.80 13.97	1892.00 13.28	1.1	1.3	3.6
	Ancash	-7.00	21.33	454.55	1046.43 0.06	1063.60 4.06	1968.00 68.18	1.0	0.4	2.8
	Cuzco	19.01	4.60	9.45	917.14 3.33	1009.00 4.67	1149.00 -2.04	3.4	4.9	2.6
1000-3000	Apurimac	9.33	11.80	37.20	885.00 1.25	1202.00 10.38	1339.00 4.33	2.4	3.4	2.5
	Huanuco	-2.95	3.97	193.87	807.86 0.68	847.80 2.81	929.00 1.17	1.0	1.0	0.7
< de 1000	Huancavelica	34.16	11.71	18.63	567.71 6.68	883.20 2.46	950.00 1.10	0.4	1.1	0.7
	Cajamarca	6.04	4.63	69.26	842.43 7.56	954.80 -1.88	1022.00 8.05	0.4	0.4	0.3

Source: Elaborated by the authors based on data from the OEEE/MINAGRI (2015).

To achieve the record quinoa harvest, between 2013 and 2014 the rate of expansion of the acreage accelerated in all the traditional producing regions (Figures 1 and 4), ranging between 8% in Puno and 481% in Arequipa. Thus, there was also a redistribution of production between regions, which is highlighted by the reduction in Puno's share of the total national production from 81% in the period 2002-2008 to 32% in 2014.

Given the situation outlined above, it is clear that the quinoa boom has caused two phenomena. On the one hand, it encouraged the acceleration of the expansion of agricultural areas in the traditional quinoa farming regions, leading to competition for greater market share. On the other hand, it led to the extension of quinoa farming to new regions. Hence, given that, worldwide, the ability to produce food is affected by the intensification of competition for land (Godfray *et al.*, 2010), the future requirements for farmland to produce quinoa in Peru need to be taken into account by decision makers and the formulators of public policy. This is particularly important if one considers that to meet the Peruvian Ministry of Agriculture's projected production of 212 thousand tons for the year 2020, a total of approximately 114,000 hectares of land (MINAGRI, 2015) would be required, which is 167% more than the amount used in 2014.

The second phenomenon, the rebound effect, is related to changes in land-use in Peru, with increasingly efficient production through the use of technology and the increased number of companies related to the processing of quinoa. To highlight the first case, Table 1 shows the variation in yield per region and shows that, during the 2009-2013 period, the rate varied between -5% in Puno and 25% in Arequipa. In absolute values, this means a yield equal to 1137 kg/ha, in the case of Puno and 2380 kg/ha, in the case of Arequipa. With the increase in production between 2013 and 2014, the yield in the Puno region remained close to 1121 kg/ha, while the Arequipa region achieved a yield of 4086 kg/ha. In general, a large part of these differences can be attributed to the heterogeneity of the edaphoclimatic factors (soil and climate), at the different ecological levels where quinoa is farmed.

For example, in Puno - the main quinoa producing region - the crop occupies areas located between 3800 and 3950 meters above sea level, and resists dry and cold weather (INIA and FAO, 2015). In that region, crop rotation (potatoes, cereals, legumes, tubers, forage) is the basis of quinoa farming, with the soil left fallow to recover fertility (Mujica, Angel *et al.*, 2001). Given the characteristics of the production system, if there is an increase in yield in this region, there may be greater demand to expand the planted area, substitute crops or abandon traditional agricultural practices in order to meet market demand. In turn, in

the case of the Arequipa region – the second largest quinoa producing region in the country since 2013 - yields are highly favorable since the weather conditions are less severe than in the Puno region and also because it includes part of the Peruvian coast. In this case, the highly efficient quinoa production also leads to an expansion rather than a reduction in the acreage, since the high yields obtained in the region make it more attractive and conducive to the expansion of activity.

To highlight another rebound effect, the case of the new quinoa producing regions along the Peruvian coast (Lambayeque, Tacna, Lima, Ica and Piura) (see Figure 1), which have higher yields than the traditional producing regions, is explored. While the yield in the Peruvian coastal regions was around 2465 kg/ha in 2014, that of the traditional producing regions was approximately 1618 Kg/ha, in the same year. So, it seems that the rebound effect was caused by technological improvements that raised the efficiency of quinoa production to meet the demand of new industrial companies that settled in the area in order to boost the integration of this product, with some added value, in global value chains. For example, in 2015, export-oriented processing plants producing ready-to eat products made from quinoa were opened in the La Libertad region, (e.g. Danper S.A.C Trujillo, Sociedad Agrícola Virú S.A.).

Land-use change through the rebound effect is especially important considering that the market for quinoa is expanding. Thus, given the expansion of the quinoa market and due to the rebound effect, and also considering that the expansion in acreage cannot continue indefinitely, there will certainly be pressure on land-use. Thus, it is crucial that decision-makers and/or public policy makers in Peru stimulate the use of good farming practices (GFP) in the production of quinoa, especially in the traditional quinoa producing regions.

The third phenomenon, the cascade effects, may be one of the consequences of the quinoa boom, since, if the growing demand for the product persists together with the need to intensify or expand production, there may be environmental impacts on the soil leading to further degradation and even desertification in certain regions (MINAM, 2011b). It is known that the soil ecosystem, through soil retention and soil formation functions, helps preserve land arable, prevent erosion, ensure productivity and protect naturally productive soils, among others (De Groot *et al.*, 2002), thus, directly impacting the food production capacity (Moonen and Barberi, 2008).

Erosion is the main cause of land degradation in the Peruvian Sierra, affecting about 50-60% of the agricultural area under cultivation (MINAM, 2011a), within which lie the

traditional quinoa producing regions. It has already been pointed out that the future of global agricultural productivity is linked to soil erosion, and soil quality is affected by agricultural practices (Dale and Polasky, 2007). Thus, it is opportune to review the subject of soil conservation in the traditional quinoa producing regions (e.g. proper soil management, farming practices, etc.). For example, in the Puno region, there are signs traditional agricultural practices are being abandoned in order to increase the volume of quinoa produced (Soto *et al.*, 2012). The region has the greatest genetic diversity of quinoa (Mujica *et al.*, 2001; FAO and CIRAD, 2015; INIA and FAO, 2015) and is the home of other Andean food products of great importance (such as cañigua, mashua, oca, tarhui, etc.). This could trigger the loss of genetic diversity in the local agriculture, if other crops are no longer grown or fewer varieties are grown due to commercial pressures. Another possible consequence might be the emergence of difficult-to-control pests due to the reduced genetic diversity and climate change in the producing regions (Swift *et al.*, 2004; Hooper *et al.*, 2005), reducing the number of natural enemies of pests (Landis *et al.*, 2000), and certainly impacting on nutritional security in those regions (Kaput *et al.*, 2015).

The conservation of agricultural biodiversity encompasses multiple dimensions: ecosystem services (Wood *et al.*, 2015), sustainable production, food security, product diversification, reduced dependence on external inputs, maximizing effective use of resources and improvement of livelihoods for small farmers (Jackson *et al.*, 2007, CBD, 2013a, 2013b). In the case of the Andean region, the biodiversity is also the basis of food sovereignty because there are human communities that maintain and support the agrobiodiversity as part of their social and natural heritage (COPISA, 2012).

Salinization is the main cause of land degradation along the Peruvian coast, which includes the new quinoa producing regions, and affects 40% of the occupied agricultural area with a significant part in the Piura and Lambayeque regions (MINAM, 2011a). Unlike the traditional producing regions, the farming practices used in the cultivation of quinoa in the new regions along the Peruvian coast are still experimental, since quinoa was introduced to reconvert areas of other crops, mainly rice.

Since 2014, the Peruvian Ministry of Agriculture has encouraged the conversion of rice farmland to quinoa in the regions of La Libertad, Lambayeque and Piura, in order to reduce the water consumption required for rice cultivation, which has accentuated the process of salinization. While rice requires, on average, 15,000 m³/ha of water, quinoa needs only 6000 m³/ha. However, while the crop conversion measures in these areas may be convenient,

phytosanitary problems affecting quinoa production could be a source of concern for local agriculture. The study by Danielsen *et al.* (2003) shows there are a variety of known diseases which appear especially when quinoa is grown in areas outside the traditional growing regions, although Downy Mildew (caused by the fungus *Peronospora farinosa*) is the most common disease in quinoa. In view of this, the 'Import Refusal Report' from the United States Food and Drug Administration (FDA), shows that in 2014, quinoa from Peru was refused entry due to excessive levels of pesticide residues (FDA, 2016). As it is basically dealing with quinoa from the Peruvian coast, it can be deduced that due to biological pressure from pests like 'Ticona' (*Feltia experta*) and/or 'Kcona Kcona' (*Eurysacca quinoae Povolny*) (INIA and FAO, 2015), producers adopt harmful control measures, such as the excessive use of pesticides. Furthermore, pesticides can contaminate the soil and affect its fertility, because the heavy application of pesticides can cause the decline of beneficial microorganisms in the soil (Swift *et al.*, 2004; Aktar *et al.*, 2009).

As shown above, through the cascade effects, the land-use changes accompanying the boom quinoa are associated with the disturbance of the soil ecosystem. Thus, the variability of expansion rate of the acreage of quinoa at the regional level requires urgent attention, mainly because soil properties are so variable over space and time (Dale and Polasky, 2007). There is a need to determine whether expanding the acreage of quinoa jeopardizes agricultural productivity, the production of other crops, and/or accelerates soil fertility loss, either by transformations to traditional agricultural practices or the excess use of pesticides (Tilman *et al.*, 2002; Swift *et al.*, 2004).

4. CONCLUDING REMARKS

Across the data set, it was possible to identify that the quinoa boom in Peru began in 2009, but the year 2014 marked the beginning of an unprecedented period in the history of the production of this crop. Because of the quinoa boom, the average rate of expansion of the acreage of quinoa was 16.23%. Whereas, if that boom had not occurred, the expansion rate would have been 2.76%, and in 2014, there would have been 43% fewer hectares planted with quinoa.

The quinoa boom produced two phenomena in Peru. On the one hand, it encouraged the accelerated expansion of the acreage of quinoa in traditional quinoa producing locations. On the other hand, it led to the extension of quinoa farming to new regions. The growth of the international quinoa market from 2008 has started to show its impact on the land-use change in Peru: i) displacement (activities of migration from one place to another in such a way as to bring about land-use changes in new locations), ii) rebound (land-use changes involving measures taken to increase the yield/productive and an increase in the number of companies operating in the sector), and iii) cascade effects (disturbances affecting the land system resulting from the substitution of areas destined for the production of other crops in specific agro-ecological conditions).

By providing a perspective on the link between the intensification of the international quinoa trade and the expansion of the acreage of quinoa in Peru, this study contributes to the literature in construction regarding the consequences of land-use changes on the sustainability of agrobiological systems. Understanding the processes of direct or indirect land-use change resulting from trade is essential so that decision-makers in Peru can better manage natural systems, in order to ensure the long-term sustainability of agricultural production in the country.

Acknowledgements

The authors are grateful to the Brazilian National Council for Research and Development – CNPq (Grant Number: CNPq-306375/2012-5) and CAPES PEC-PG (Grant number: 5898-11-0) for their financial support.

5. REFERENCES

ABUGOCH, L. E. Chapter 1 Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties. **Advances in Food and Nutrition Research**, v. 58, p. 1-31, 2009.

AKTAR, M. W.; SENGUPTA, D.; CHOWDHURY, A. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. **Interdisciplinary Toxicology**, v. 2, n. 1, p. 1-12, 2009.

CBD. Convention on Biological Diversity. **COP 5 decision V/5. Agricultural biological diversity**, Montreal, Canada, 2013a. Available at: www.cbd.int/decision/cop/default.shtml.

_____. Convention on Biological Diversity. **What is agricultural biodiversity?**, Montreal, Quebec, Canada, 2013b. Available at: www.cbd.int/agro/whatis.shtml.

COPIA. Conferencia Plurinacional e Intercultural de Soberanía Alimentaria. **Propuesta de ley orgánica de agrobiodiversidad, semillas y fomento agroecológico**, 2012. Available at: <http://www.soberaniaalimentaria.gob.ec>.

DALE, V. H.; POLASKY, S. Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. **Ecological Economics**, v. 64, n. 2, p. 286-296, 2007.

DANIELSEN, S.; BONIFACIO, A.; AMES, T. Diseases of quinoa (*Chenopodium quinoa*). **Food Reviews International**, v. 19, n. 1-2, p. 43-59, 2003.

DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, v. 41, n. 3, p. 393-408, 2002.

DILLEHAY, T. D. et al. Pre-ceramic adoption of peanut, squash, and cotton in northern Peru. **Science**, v. 316, n. 5833, p. 1890-1893, 2007.

FAO; CIRAD. **State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013**. Food and Agriculture Organisation of the United Nations and Centre for International Cooperation in Agricultural Research for Development. Rome, Italy, 2015.

FAOSTAT. **FAOSTAT database**: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016.

FDA. **Import Alert 99-08**. U.S. Food and Drug Administration, 2016. Available at: http://www.accessdata.fda.gov/cms_ia/importalert_259.html.

GARDNER JR., E. S. Exponential Smoothing: the state of the art. **Journal of Forecasting**, v. 4, p. 1-28, 1985.

_____. Exponential Smoothing: the state of the art - Part II. **International Journal of Forecasting**, v. 22, n. 4, p. 637-666, 2006.

GODFRAY, H. C. J. et al. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010.

GRUNERT, K. G. European consumers' acceptance of functional foods. **Foods for Health in the 21st Century: a Road Map for the Future**, v. 1190, p. 166-173, 2010.

HOOVER, D. U. et al. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. **Ecological Monographs**, v. 75, n. 1, p. 3-35, 2005.

IICA. El Mercado y la Producción de Quinoa en el Perú. In: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura - IICA (Ed.). Lima, Perú, 2015. p.172.

INEI. **III Censo Nacional Agropecuario 1994**. Perú: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 1994.

_____. **IV Censo Nacional Agropecuario**. Perú: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2012.

INIA; FAO. **Catalogue of commercial varieties of quinoa in Peru**. Lima, Peru: Instituto Nacional de Innovación Agraria del Perú & Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015.

JACKSON, L. E.; PASCUAL, U.; HODGKIN, T. Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 121, n. 3, p. 196-210, 2007.

KAPUT, J. et al. Enabling nutrient security and sustainability through systems research. **Genes and Nutrition**, v. 10, n. 3, 2015.

KASTNER, T.; ERB, K.-H.; HABERL, H. Rapid growth in agricultural trade: effects on global area efficiency and the role of management. **Environmental Research Letters**, v. 9, n. 3, 2014.

KISSINGER, M.; REES, W. E. Importing terrestrial biocapacity: The US case and global implications. **Land Use Policy**, v. 27, n. 2, p. 589-599, 2010.

LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 108, n. 9, p. 3465-3472, 2011.

LAMBIN, E. F. et al. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. **Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions**, v. 11, n. 4, p. 261-269, 2001.

LANDIS, D. A.; WRATTEN, S. D.; GURR, G. M. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. **Annual Review of Entomology**, v. 45, p. 175-201, 2000.

LENZEN, M. et al. International trade drives biodiversity threats in developing nations. **Nature**, v. 486, n. 7401, p. 109-112, 2012.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **A History of World Agriculture: from the Neolithic Age to the Current Crisis**. Earthscan, London. 2006a. 496p.

MINAGRI. **Quinoa. Un futuro sembrado hace miles de años. Memoria del Año Internacional de la Quinoa en el Perú**. Ministerio de Agricultura y Riego, Lima, Perú, 127 p. 2014.

_____. **Quinoa Peruana: situación actual y perspectivas en el mercado nacional e internacional al 2015**. Ministerio de Agricultura y Riego, Lima, Perú. Estudio técnico N° 1-2015, 68 p. 2015.

MINAM. **IV. Los procesos de desertificación y degradación de las tierras en el Perú y el mundo**. La desertificación en el Perú. Ministerio del Ambiente del Perú, Lima, Perú, 26-38 p., 2011a.

_____. **La Desertificación en el Perú: Cuarta Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Lucha contra la Desertificación y la Sequía**. Ministerio del Ambiente del Perú, Lima, Perú, 73 p. 2011b.

MOONEN, A.-C.; BARBERI, P. Functional biodiversity: An agroecosystem approach. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 127, n. 1-2, p. 7-21, 2008.

MUJICA, A.; CANAHUA, A.; SARAVIA, R. Capítulo II: Agronomía del Cultivo de la Quinoa. In: MUJICA, A.; SVEN-ERIK, J., *et al* (Ed.). **Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro**. Santiago, Chile: CONDESAN (Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina, 2001.

MUJICA, A. et al. **Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro**. Santiago, Chile: FAO, UNA-Puno: 350 p. 2001.

MUNROE, D. K. et al. Using economic geography to reinvigorate land-change science. **Geoforum**, v. 52, p. 12-21, 2014.

MÚJICA, A. Andean grains and legumes. In: BERMEJO, J., J (Ed.). **Neglected crops: 1492 from a different perspective**. FAO Plant Production and Protection Series, Rome, v.26, 1994. p.131-148.

NOWAK, V.; DU, J.; CHARRONDIERE, U. R. Assessment of the nutritional composition of quinoa (Chenopodium quinoa Willd.). **Food Chemistry**, v. 193, p. 47-54, 2015.

OEEE/MINAGRI. **Series Históricas de Producción Agrícola: Compendio Estadístico**. Office of Economic and Statistical Studies (OEEE) of the Ministry of Agriculture and Irrigation (MINAGRI), Lima, Peru, 2015.

PEARSALL, D. M. Plant Domestication and the Shift to Agriculture in the Andes. **Handbook of South American Archaeology**, p. 105-120, 2008.

REPO-CARRASCO, R.; ESPINOZA, C.; JACOBSEN, S. E. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*). **Food Reviews International**, v. 19, n. 1-2, p. 179-189, 2003.

SIICEX. **Integrated Information System on Foreign Trade**, Lima, 2015.

SIRO, I. et al. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance-A review. **Appetite**, v. 51, n. 3, p. 456-467, 2008.

SOTO, J. et al. Descripción de sistemas de rotación de cultivos en parcelas de producción de quinua en cuatro zonas (siete distritos) del altiplano peruano. **Journal de Ciencia y Tecnología Agraria**, v. 2, n. 3, p. 391-402, 2012.

SWIFT, M. J.; IZAC, A. M. N.; VAN NOORDWIJK, M. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes - are we asking the right questions? **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 104, n. 1, p. 113-134, 2004.

TILMAN, D. et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, v. 418, n. 6898, p. 671-677, 2002.

TURNER, B. L., II; LAMBIN, E. F.; REENBERG, A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 104, n. 52, p. 20666-20671, 2007.

UNFAO. UN General Assembly. Resolution adopted by the General Assembly on 22 December 2011. **International Year of Quinoa, 2013**. UN Document A/RES/66/446. 2012.

_____. UN General Assembly. Resolution adopted by the General Assembly on 22 December 2011. International Year of Soils, 2015. UN Document A/RES/68/232. 2015.

VAVILOV, N. I. **Variation, Immunity and Breeding of Cultivated Plants**. Waltham, MA: Chronica Botanica Co., 364, 1951.

VERBURG, P. H. et al. Land system change and food security: towards multi-scale land system solutions. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, v. 5, n. 5, p. 494-502, 2013.

VIETMEYER, N. D. Lesser-known plants of potential use in agriculture and forestry. **Science**, v. 232, n. 4756, p. 1379-1384, 1986.

VON BRAUN, J.; DIAZ-BONILLA, E. **Globalization of food and agriculture and the poor**, 2008.

WFP. World Food Programme. **Atlas de Seguridad Alimentaria, Desastres y Cambio Climático**, 2014. Available at: < <http://es.wfp.org/atlas-areas-vulnerables-region-andina> >.

WOOD, S. A. et al. Functional traits in agriculture: agrobiodiversity and ecosystem services. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 30, n. 9, p. 531-539, 2015.

YU, Y.; FENG, K.; HUBACEK, K. Tele-connecting local consumption to global land use. **Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions**, v. 23, n. 5, p. 1178-1186, 2013.

6. CONCLUSÃO

A análise da série histórica da produção de quinoa no Peru, entre 1995 e 2014, demonstra que a configuração da área cultivada foi alterada drasticamente a partir de 2009 e, especialmente, em 2014. Portanto, o *boom* da quinoa compreende o período que inicia em 2009. Levando em conta essa consideração, abaixo descrevem-se as principais conclusões desta pesquisa.

O *boom* da quinoa incentivou a aceleração da expansão da produção de quinoa em áreas agrícolas das localidades tradicionalmente produtoras e também provocou um processo de expansão desta atividade produtiva para novas regiões. Embora seja um fenômeno recente, existem elementos sinalizando a possibilidade de que as práticas agrícolas tradicionais, que incluem a rotação de culturas e descanso do solo — que representa um dos aspectos fundamentais na produção de quinoa, na conservação do solo e que foi muito utilizada no passado — estão sendo substituídas por um regime de produção intensiva, sem descanso para o solo.

Identificou-se que na região Puno — principal região produtora de quinoa no Peru — há um decréscimo na produção e na área cultivada de cañigua, mashua e oca, e na superfície cultivada de tarhui. Portanto, sugere-se que a crescente demanda por quinoa estaria iniciando o deslocamento de área destinada à produção de outros cultivos Andinos, o que acarretaria na intensificação do uso de solo para um monocultivo de quinoa.

O *boom* da quinoa ocasionou um incremento de 43% na quantidade de hectares destinadas ao seu cultivo em 2014 em relação à quantidade de área prevista caso esse evento não tivesse ocorrido. O aumento da demanda internacional por quinoa a partir de 2008 já começa a revelar suas consequências sobre as mudanças no uso da terra no Peru: (i) deslocamento (migração de atividades de um lugar para outro de maneira a ocasionar mudanças no uso da terra em novas localidades); (ii) efeito rebote (mudanças no uso da terra com as medidas adotadas para incrementar a eficiência da produção e aumento do número de empresas atuando no setor); e (iii) efeito cascata (perturbações que afetam o sistema terrestre em decorrência da substituição de áreas destinadas à produção de outros cultivos em condições agroecológicas específicas).

7. REFERÊNCIAS

ABUGOCH, L. E. Chapter 1 Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Chemistry, Nutritional, and Functional Properties. **Advances in Food and Nutrition Research**, San Diego, v. 58, p. 1-31, 2009.

AKTAR, M. W.; SENGUPTA, D.; CHOWDHURY, A. Impact of pesticides use in agriculture: their benefits and hazards. **Interdisciplinary Toxicology**, Bratislava, v. 2, n. 1, p. 1-12, 2009.

ALTIERI, M. A.; FUNES-MONZOTE, F. R.; PETERSEN, P. Agroecologically efficient agricultural systems for smallholder farmers: contributions to food sovereignty. **Agronomy for Sustainable Development**, Les Ulis, v. 32, n. 1, p. 1-13, 2012.

BARBIERI, R. L. et al. Agricultural Biodiversity in Southern Brazil: Integrating Efforts for Conservation and Use of Neglected and Underutilized Species. **Sustainability**, Basel, v. 6, n. 2, p. 741-757, 2014.

BOYD, J.; BANZHAF, S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 63, n. 2-3, p. 616-626, 2007.

BUSH, M. B.; MOSBLECH, N. A. S.; CHURCH, W. Climate change and the agricultural history of a mid-elevation Andean montane forest. **Holocene**, London, v. 25, n. 9, p. 1522-1532, 2015.

CBD - Convention on Biological Diversity. **COP 5 decision V/5. Agricultural biological diversity**, Montreal, Canada, 2013a. Disponível em: < www.cbd.int/decision/cop/default.shtml >. Acesso em: 16 mai. 2013.

CBD - Convention on Biological Diversity. **What is agricultural biodiversity?**, Montreal, Quebec, Canada, 2013b. Disponível em: < www.cbd.int/agro/whatis.shtml >. Acesso em: 16 mai. 2013.

CHAN, K. M. A. et al. Why protect nature? Rethinking values and the environment. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 113, n. 6, p. 1462-1465, 2016.

CHAPIN, F. S. et al. Consequences of changing biodiversity. **Nature**, London, v. 405, n. 6783, p. 234-242, 2000.

CI. Conservation International. **Tropical Andes**, 2013. Disponível em: < http://www.conservation.org/where/priority_areas/hotspots/south_america/Tropical-Andes/Pages/default.aspx >. Acesso em: 31 ago. 2013.

COPISA - Conferencia Plurinacional e Intercultural de Soberanía Alimentaria. **Propuesta de ley orgánica de agrobiodiversidad, semillas y fomento agroecológico**. 2012. Disponível em: < <http://www.soberaniaalimentaria.gob.ec> >. Acesso em: 15 set. 2013.

COSTANZA, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, London, v. 387, n. 6630, p. 253-260, 1997.

DAILY, G. Introduction: What are ecosystem services? In: DAILY, G. (Ed.). **Nature's services: societal dependence on natural ecosystems**. Washington DC: Island Press, 1997.

DALE, V. H.; POLASKY, S. Measures of the effects of agricultural practices on ecosystem services. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 64, n. 2, p. 286-296, 2007.

DANIELSEN, S.; BONIFACIO, A.; AMES, T. Diseases of quinoa (*Chenopodium quinoa*). **Food Reviews International**, New York, v. 19, n. 1-2, p. 43-59, 2003.

DE GROOT, R. S.; WILSON, M. A.; BOUMANS, R. M. J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 41, n. 3, p. 393-408, 2002.

DEFRIES, R. et al. Global nutrition metrics for land-scarce agriculture. **Science**, New York, v. 349, n. 6245, p. 238-240, 2015.

DILLEHAY, T. D.; ELING, H. H.; ROSSEN, J. Preceramic irrigation canals in the Peruvian Andes. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 102, n. 47, p. 17241-17244, 2005.

DILLEHAY, T. D. et al. Preceramic adoption of peanut, squash, and cotton in northern Peru. **Science**, New York, v. 316, n. 5833, p. 1890-1893, 2007.

FAO. **Neglected crops: 1492 from a different perspective**. Rome: FAO, 1994. (Plant Production and Protection Series).

FAO. Economic and Social Development Department. **Report on the State of the World's Plant Genetic Resources for Food and Agriculture**. Rome, 1998.

FAO. Economic and Social Development Department. **What is happening to agrobiodiversity?** Rome, 2004. Disponível em: < <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/007/y5609e/y5609e00.pdf> >. Acesso em: 31 ago. 2013.

FAO. **The second report on the state of the world's plant genetic resources for food and agriculture**. Rome, 2010.

FAO. **What is agricultural biodiversity and what are ecosystem services?** Rome, 2014. Disponível em: < <http://www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/spi/scpi-home/managing-ecosystems/biodiversity-and-ecosystem-services/what1/en/> >. Acesso em: 16 abr. 2015.

FAO; CIRAD. **State of the Art Report of Quinoa in the World in 2013**. Rome, Italy: Food and Agriculture Organisation of the United Nations & Centre for International Cooperation in Agricultural Research for Development, 2015.

FAOSTAT. [Base de Dados]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2016.

FDA. **Import Alert 99-08.** 2016. Disponível em: <
http://www.accessdata.fda.gov/cms_ia/importalert_259.html>. Acesso em: 18 mai. 2016.

FISCHER, J.; LINDENMAYER, D. B.; MANNING, A. D. Biodiversity, ecosystem function, and resilience: ten guiding principles for commodity production landscapes. **Frontiers in Ecology and the Environment**, Washington, v. 4, n. 2, p. 80-86, 2006.

FISHER, B.; TURNER, R. K.; MORLING, P. Defining and classifying ecosystem services for decision making. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 68, n. 3, p. 643-653, 2009.

FOLEY, J. A. et al. Global consequences of land use. **Science**, Washington, v. 309, n. 5734, p. 570-574, 2005.

FRISON, E. A.; CHERFAS, J.; HODGKIN, T. Agricultural Biodiversity Is Essential for a Sustainable Improvement in Food and Nutrition Security. **Sustainability**, Basel, v. 3, n. 1, p. 238-253, 2011.

FU, B.-J. et al. Double counting in ecosystem services valuation: causes and countermeasures. **Ecological Research**, Tokio, v. 26, n. 1, p. 1-14, 2011.

GARDNER JR., E. S. Exponential Smoothing: the state of the art. **Journal of Forecasting**, Chinchester, v. 4, p. 1-28, 1985.

GARDNER JR., E. S. Exponential Smoothing: the state of the art - Part II. **International Journal of Forecasting**, Amsterdam, v. 22, n. 4, p. 637-666, 2006.

GODFRAY, H. C. J. et al. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. **Science**, Washington, v. 327, n. 5967, p. 812-818, 2010.

GRUNERT, K. G. European consumers' acceptance of functional foods. **Foods for Health in the 21st Century: a Road Map for the Future**. 2010. p. 166-173. (Annals of the New York Academy of Sciences, v. 1190)

GÓMEZ, P.; EGUILUZ, A. **Catálogo del Banco de Germoplasma de Quinoa (Chenopodium quinoa Willd)**. Lima, Perú: Universidad Agraria La Molina & Ministerio del Ambiente: 2011. 183 p.

HASTORF, C. A. The Formative Period in the Titicaca Basin. In: SILVERMAN, H. I., W.H. (Ed.). **Handbook of South American Archaeology**: New York: Springer, 2008. cap. 28.

HAZELL, P.; WOOD, S. Drivers of change in global agriculture. **Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences**, London, v. 363, n. 1491, p. 495-515, 2008.

HELLIN, J.; HIGMAN, S. Crop diversity and livelihood security in the Andes. **Development in Practice**, Oxford, v. 15, p. 165-174, 2005.

HOOPER, D. U. et al. Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. **Ecological Monographs**, Tempe, v. 75, n. 1, p. 3-35, 2005.

IICA. El Mercado y la Producción de Quinoa en el Perú. In: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Lima, Perú, 2015. p.172.

INEI. **III Censo Nacional Agropecuario 1994**. Perú: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 1994.

INEI. **El Productor Agropecuario: Condiciones de Vida y Pobreza**. Perú: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 1997.

INEI. **IV Censo Nacional Agropecuario**. Perú: Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2012.

INIA; FAO. **Catalogue of commercial varieties of quinoa in Peru**. Lima, Peru: Instituto Nacional de Innovación Agraria del Perú & Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2015.

IPCC. Agriculture, Forestry and Other Land Use. In: EDENHOFER, O. et al (Ed.). **Climate Change 2014**. Cambridge: Cambridge University Press, 2014. cap. 11.

JACKSON, L. E.; PASCUAL, U.; HODGKIN, T. Utilizing and conserving agrobiodiversity in agricultural landscapes. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 121, n. 3, p. 196-210, 2007.

JACOBSEN, S. E. The Situation for Quinoa and its Production in Southern Bolivia: From Economic Success to Environmental Disaster. **Journal of Agronomy and Crop Science**, Oxford, v. 197, n. 5, p. 390-399, 2011.

JACOBSEN, S. E. What is Wrong With the Sustainability of Quinoa Production in Southern Bolivia - A Reply to Winkel et al. (2012). **Journal of Agronomy and Crop Science**, Oxford, v. 198, n. 4, p. 320-323, 2012.

JONES, L. et al. Stocks and flows of natural and human-derived capital in ecosystem services. **Land Use Policy**, Amsterdam, v. 52, p. 151-162, 2016.

KAHANE, R.; HODGKIN, T.; JAENICKE, H. Agrobiodiversity for food security, health and income. **Agronomy for Sustainable Development**, Les Ulis, v. 33, n. 4, p. 671-693, 2013.

KAPUT, J. et al. Enabling nutrient security and sustainability through systems research. **Genes and Nutrition**, New Orleans, v. 10, n. 3, 2015.

KASTNER, T.; ERB, K.-H.; HABERL, H. Rapid growth in agricultural trade: effects on global area efficiency and the role of management. **Environmental Research Letters**, London, v. 9, n. 3, 2014.

KASTNER, T. et al. Global changes in diets and the consequences for land requirements for food. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 109, n. 18, p. 6868-6872, 2012.

KHOURY, C. et al. Origins of food crops connect countries worldwide. **Proceedings of the Royal Society B**, London, v. 283, n. 20160792, 2016.

KISSINGER, M.; REES, W. E. Importing terrestrial biocapacity: The US case and global implications. **Land Use Policy**, Amsterdam, v. 27, n. 2, p. 589-599, 2010.

LAMBIN, E.; GEIST, H.; LEPERS, E. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. **Annual Review of Environment and Resources**, Palo Alto, v. 28, p. 205-241, 2003.

LAMBIN, E. F.; MEYFROIDT, P. Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 108, n. 9, p. 3465-3472, 2011.

LAMBIN, E. F. et al. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. **Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions**, Guildford, v. 11, n. 4, p. 261-269, 2001.

LANDIS, D. A.; WRATTEN, S. D.; GURR, G. M. Habitat management to conserve natural enemies of arthropod pests in agriculture. **Annual Review of Entomology**, Palo Alto, v. 45, p. 175-201, 2000.

LARSON, G. et al. Current perspectives and the future of domestication studies. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 111, n. 17, p. 6139-6146, 2014.

LENZEN, M. et al. International trade drives biodiversity threats in developing nations. **Nature**, London, v. 486, n. 7401, p. 109-112, 2012.

LIU, J. et al. Framing Sustainability in a Telecoupled World. **Ecology and Society**, Ottawa, v. 18, n. 2, 2013.

LIU, J. et al. Systems integration for global sustainability. **Science**, v. 347, n. 6225, p. 963-+, 2015.

LUGSCHITZ, B.; BRUCKNER, M.; GILJUM, S. **Europe's global land demand – A study on the actual land embodied in European imports and exports of agricultural and forestry products**. Vienna: Sustainable Europe Research Institute (SERI), 2011. 36 p.

MASEYK, F. et al. Managing Natural Capital Stocks for the Provision of Ecosystem Services. **Conservation Letters**, Malden, v. 12242, 2016.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. **A History of World Agriculture: from the Neolithic Age to the Current Crisis**. London: Earthscan, 2006a. 496p.

MAZOYER, M.; ROUDART, L. The Inca Agrarian System: A Mountain Agrarian System Composed of Complementary Subsystems at Different Elevations. In: MAZOYER, M; ROUDART, L. (Eds.). **A History of World Agriculture: from the Neolithic Age to the Current Crisis**. London: Earthscan, 2006b. cap. 5, p.189-216.

MEA -Millennium Ecosystem Assesment. **Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis.** Washington DC: Island Press, 2005.

MINAGRI. **Quinoa. Un futuro sembrado hace miles de años. Memoria del Año Internacional de la Quinoa en el Perú.** Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego, 2014. 127 p.

MINAGRI. **Quinoa Peruana: situación actual y perspectivas en el mercado nacional e internacional al 2015.** Lima, Perú: Ministerio de Agricultura y Riego, 2015. 68 p. (Estudio técnico n. 1-2015)

MINAM. **IV. Los procesos de desertificación y degradación de las tierras en el Perú y el mundo.** La desertificación en el Perú. Lima, Perú: Ministerio del Ambiente del Perú. 2011a. p. 26-38

MINAM. **La Desertificación en el Perú: Cuarta Comunicación Nacional del Perú a la Convención de Lucha contra la Desertificación y la Sequía.** Lima, Perú: Ministerio del Ambiente del Perú, 2011b. 73 p.

MOONEN, A.-C.; BARBERI, P. Functional biodiversity: An agroecosystem approach. **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 127, n. 1-2, p. 7-21, 2008.

MUJICA, A.; CANAHUA, A.; SARAVIA, R. Agronomía del Cultivo de la Quinoa. In: MUJICA, A.; SVEN-ERIK, J. et al (Ed.). **Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro.** Santiago, Chile: CONDESAN (Consortio para el Desarrollo Sostenible de la Ecorregión Andina, 2001.

MUJICA, A. et al. **Quinoa (Chenopodium quinoa Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro.** Santiago, Chile, 2001. 350 p.

MUNROE, D. K. et al. Using economic geography to reinvigorate land-change science. **Geoforum**, Oxford, v. 52, p. 12-21, 2014.

MÚJICA, A. Andean grains and legumes. In: BERMEJO, J., J (Ed.). **Neglected crops: 1492 from a different perspective.** Rome: FAO, 1994. p. 131-148. (FAO Plant Production and Protection Series, v. 26).

NAGENDRA, H.; REYERS, B.; LAVOREL, S. Impacts of land change on biodiversity: making the link to ecosystem services. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, Amsterdam, v. 5, n. 5, p. 503-508, 2013.

NOWAK, V.; DU, J.; CHARRONDIERE, U. R. Assessment of the nutritional composition of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). **Food Chemistry**, Berlim, v. 193, p. 47-54, 2015.

OEEE/MINAGRI. **Series Históricas de Producción Agrícola: Compendio Estadístico.** Lima, Peru: Office of Economic and Statistical Studies (OEEE) of the Ministry of Agriculture and Irrigation, 2015.

PEARSALL, D. M. Plant Domestication and the Shift to Agriculture in the Andes. In: **HANDBOOK of South American Archaeology**. New York: Springer, 2008. p. 105-120

PHALAN, B. et al. Reconciling Food Production and Biodiversity Conservation: Land Sharing and Land Sparing Compared. **Science**, New York, v. 333, n. 6047, p. 1289-1291, 2011.

PIPERNO, D. R. The Origins of Plant Cultivation and Domestication in the New World Tropics Patterns, Process, and New Developments. **Current Anthropology**, Chicago, v. 52, p. S453-S470, 2011.

POWER, A. Ecosystem services and agriculture: tradeoffs and synergies. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, London, v. 365, n. 1554, p. 2959-2971, 2010.

PRETTY, J. et al. The top 100 questions of importance to the future of global agriculture. **International Journal of Agricultural Sustainability**, London, v. 8, n. 4, p. 219-236, 2010.

REPO-CARRASCO, R.; ESPINOZA, C.; JACOBSEN, S. E. Nutritional value and use of the Andean crops quinoa (*Chenopodium quinoa*) and kaniwa (*Chenopodium pallidicaule*). **Food Reviews International**, New York, v. 19, n. 1-2, p. 179-189, 2003.

REY BENAYAS, J. M.; BULLOCK, J. M. Restoration of Biodiversity and Ecosystem Services on Agricultural Land. **Ecosystems**, New York, v. 15, n. 6, p. 883-899, 2012.

ROCKSON, G.; BENNETT, R.; GROENENDIJK, L. Land administration for food security: A research synthesis. **Land Use Policy**, Amsterdam, v. 32, p. 337-342, 2013.

RUEDA, X.; LAMBIN, E. F. Linking Globalization to Local Land Uses: How Eco-Consumers and Gourmards are Changing the Colombian Coffee Landscapes. **World Development**, New York, v. 41, p. 286-301, 2013.

SAKAI, M. Limit consumption to preserve habitats. **Nature**, London, v. 486, n. 7404, p. 473-473, 2012.

SALA, O. E. et al. Biodiversity - Global biodiversity scenarios for the year 2100. **Science**, New York, v. 287, n. 5459, p. 1770-1774, 2000.

SANDWEISS, D. H.; RICHARDSON, J. B. Central Andean Environments. In: SILVERMAN, H. and ISBELL, W.H. (Ed.). **Handbook of South American Archaeology**. New York: Springer, 2008. cap. 6, p.93-104

SIICEX. **Integrated Information System on Foreign Trade**. Lima, 2015.

SIRO, I. et al. Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance-A review. **Appetite**, London, v. 51, n. 3, p. 456-467, 2008.

SMITH, P. Delivering food security without increasing pressure on land Pete Smith. **Global Food Security-Agriculture Policy Economics and Environment**, [S.l.], v. 2, n. 1, p. 18-23, 2013.

SMITH, P. et al. Competition for land. **Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences**, London, v. 365, n. 1554, p. 2941-2957, 2010.

SWIFT, M. J.; IZAC, A. M. N.; VAN NOORDWIJK, M. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes - are we asking the right questions? **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 113-134, 2004.

SOTO, J. et al. Descripción de sistemas de rotación de cultivos en parcelas de producción de quinua en cuatro zonas (siete distritos) del altiplano peruano. **Journal de Ciencia y Tecnología Agraria**, La paz, v. 2, n. 3, p. 391-402, 2012.

STANISH, C. **Ancient Titicaca: The Evolution of Complex Society in Southern Peru and Northern Bolivia**. London, England: University of California Press, 2003.

STEFFEN, W., A. et al. Living with global change: consequences of changes in the Earth system for human well-being. In: GLOBAL change and the Earth system: a planet under pressure. Berlin: Springer, 2004. cap. 5, p.203-249

SWIFT, M. J.; IZAC, A. M. N.; VAN NOORDWIJK, M. Biodiversity and ecosystem services in agricultural landscapes - are we asking the right questions? **Agriculture Ecosystems & Environment**, Amsterdam, v. 104, n. 1, p. 113-134, 2004.

THRUPP, L. A. Linking agricultural biodiversity and food security: the valuable role of agrobiodiversity for sustainable agriculture. **International Affairs**, London, v. 76, n. 2, p. 265, 2000.

TILMAN, D. et al. Agricultural sustainability and intensive production practices. **Nature**, London, v. 418, n. 6898, p. 671-677, 2002.

TSCHARNTKE, T. et al. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. **Biological Conservation**, Amsterdam, v. 151, n. 1, p. 53-59, 2012.

TURNER, B. L., II; LAMBIN, E. F.; REENBERG, A. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 104, n. 52, p. 20666-20671, 2007.

UNFAO. UN General Assembly. Resolution adopted by the General Assembly on 22 December 2011. **International Year of Quinoa, 2013**. 2012. (UN Document A/RES/66/446).

UNFAO. UN General Assembly. Resolution adopted by the General Assembly on 22 December 2011. **International Year of Soils, 2015**. 2015. (UN Document A/RES/68/232).

VAVILOV, N. I. **Variation, Immunity and Breeding of Cultivated Plants**. Waltham, MA: Chronica Botanica Co., 1951.364 p.

VERBURG, P. H. et al. Land system change and food security: towards multi-scale land system solutions. **Current Opinion in Environmental Sustainability**, Amsterdam, v. 5, n. 5, p. 494-502, 2013.

VIETMEYER, N. D. Lesser-known plants of potential use in agriculture and forestry. **Science**, New York, v. 232, n. 4756, p. 1379-1384, 1986.

VITOUSEK, P. M. et al. Human domination of Earth's ecosystems. **Science**, New York, v. 277, n. 5325, p. 494-499, 1997.

VON BRAUN, J.; DIAZ-BONILLA, E. **Globalization of food and agriculture and the poor**. New Delli: Oxford Press, 2008.

WEINZETTEL, J. et al. Affluence drives the global displacement of land use. **Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions**, Guildford, v. 23, n. 2, p. 433-438, 2013.

WEST, P. C. et al. Leverage points for improving global food security and the environment. **Science**, New York, v. 345, n. 6194, p. 325-328, 2014.

WFP - World Food Programme. **Atlas de Seguridad Alimentaria, Desastres y Cambio Climático**. 2014. Disponível em: <<http://es.wfp.org/atlas-areas-vulnerables-region-andina>>. Acesso em: 03 mai. 2014.

WINKEL, T. et al. The Sustainability of Quinoa Production in Southern Bolivia: from Misrepresentations to Questionable Solutions. Comments on Jacobsen (2011), J. Agron. Crop Sci. 197: 390-399). **Journal of Agronomy and Crop Science**, Oxford, v. 198, n. 4, p. 314-319, 2012.

WOOD, S. A. et al. Functional traits in agriculture: agrobiodiversity and ecosystem services. **Trends in Ecology & Evolution**, Amsterdam, v. 30, n. 9, p. 531-539, 2015.

WURTENBERGER, L.; KOELLNER, T.; BINDER, C. R. Virtual land use and agricultural trade: Estimating environmental and socio-economic impacts. **Ecological Economics**, Amsterdam, v. 57, n. 4, p. 679-697, 2006.

YU, Y.; FENG, K.; HUBACEK, K. Tele-connecting local consumption to global land use. **Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions**, Guildford, v. 23, n. 5, p. 1178-1186, 2013.

ZIMMERER, K. S.; BELL, M. G. An early framework of national land use and geovisualization: Policy attributes and application of Pulgar Vidal's state-indigenous vision of Peru (1941-present). **Land Use Policy**, Amsterdam, v. 30, n. 1, p. 305-316, 2013.