Post-Last Glacial Maximum vegetation and ecosystem responses to climate change and human expansion in the Neotropical realm: land cover changes and megafauna extinctions

By

Antoine Champreux

Master’s degree

*Thesis
Submitted to Flinders University
for the degree of*

**Doctor of Philosophy**

College of Science and Engineering

24th of February 2024

# Abstract

The post-Last Glacial Maximum period (~ 19,000 years ago to the present) was characterised by major changes in the global climate and atmospheric CO2 concentration, such as the general increase in global temperatures and changes in precipitation regimes. In the Neotropical realm, a biogeographical region spanning the southern edge of the USA to Tierra del Fuego in Chile in southernmost South America, this period coincided with widespread ecosystem upheavals, including vegetation changes, the extinction of more than 80% of South American megafauna species (i.e., species weighing > 44 kg), and the increase in population densities of *Homo sapiens*. However, quantifying how the relationships between these events shaped South America's past landscape remains a challenge. The overarching aim of my thesis was to quantify how past environmental changes associated with an increase in human pressure shaped South America's ecosystems. More specifically, I aimed to 1) synthesise knowledge and quantify the effects of post-Last Glacial Maximum climate change and the intensification of human activities on Neotropical ecosystems at broad spatial scales focussing primarily on changes in vegetation, and 2) determine whetherclimate-induced vegetation changes after the Last Glacial Maximum could have caused megafauna extinctions in the Neotropical realm. To that end, I combined the information provided by palaeo-environment and megafauna fossil records with a spatial and dynamic vegetation modelling approach driven by palaeo-climate simulation experiments. I showed that variation in precipitation, temperature, solar radiation, and atmospheric CO2 have potentially led to substantial, widespread, and asynchronous increases in regional tree cover, strongly affecting a third of the Neotropical realm mainly prior to the beginning of the Holocene (~11,700 years before present). While the effect of climate appears to be predominant in large-scale ecosystem changes prior to the Holocene, human activities played an increasingly important role during the Holocene, resulting in a progressive decoupling between vegetation patterns and climate, consequently also blurring our current understanding of climate-vegetation relationships. My results also support the hypothesis that climate-induced vegetation changes were likely not the main driver of the demise of most megafauna species in the Southern Cone (latitude > 30 °S) at the very end of the Pleistocene. Overall, my thesis provides a better understanding of the broad-scale mechanisms that shaped Neotropical ecosystems as we know them today, and provides insights to predict the response of these ecosystems to future climate change and the ongoing intensification of human endeavour.

# RÉSUMÉ

La période qui a suivi le dernier maximum glaciaire (il y a environ 19 000 ans jusqu'à aujourd'hui) a été caractérisée par des changements majeurs dans le climat mondial et la concentration de CO2 dans l'atmosphère, tels que l'augmentation générale des températures mondiales et des changements dans les régimes de précipitations. Dans l’écozone néotropicale, une région biogéographique qui s'étend du sud des États-Unis à la Terre de Feu au Chili, à l'extrême sud de l'Amérique du Sud, cette période a coïncidé avec des bouleversements généralisés des écosystèmes, notamment des changements dans la végétation, l'extinction de plus de 80 % des espèces de la mégafaune sud-américaine (c'est-à-dire des espèces pesant plus de 44 kg) et l'augmentation des densités de population d’*Homo sapiens*. Cependant, quantifier comment les relations entre ces événements ont façonné le paysage passé de l'Amérique du Sud reste un défi. L'objectif principal de ma thèse était de quantifier la manière dont les changements environnementaux passés associés à une augmentation de la pression humaine ont façonné les écosystèmes d'Amérique du Sud. Plus précisément, l’objectif était de 1) synthétiser les connaissances et quantifier les effets des changements climatiques postérieurs au dernier maximum glaciaire et de l'intensification des activités humaines sur les écosystèmes néotropicaux à de larges échelles spatiales, en me concentrant principalement sur les changements de végétation, et 2) déterminer si les changements de végétation induits par le climat après le dernier maximum glaciaire auraient pu provoquer l'extinction de la mégafaune dans l’écozone néotropicale. Dans ce but, j'ai combiné les informations fournies par les archives fossiles des paléoenvironnements et de la mégafaune avec une approche de modélisation spatiale et dynamique de la végétation basée sur des expériences de simulation du paléoclimat. J'ai montré que les variations des précipitations, de la température, du rayonnement solaire et des concentrations de CO2 dans l’atmosphère ont potentiellement conduit à des augmentations substantielles, étendues et asynchrones de la couverture arborée régionale, affectant fortement un tiers de l’écozone néotropicale principalement avant le début de l'Holocène (il y a environ 11 700 ans). Alors que l'effet du climat semble prédominant dans les changements à grande échelle des écosystèmes avant l'Holocène, les activités humaines ont joué un rôle de plus en plus important pendant l'Holocène, entraînant un découplage progressif entre la distribution de la végétation et le climat, brouillant ainsi notre compréhension actuelle des relations entre le climat et la végétation. Mes résultats soutiennent également l'hypothèse selon laquelle les changements de végétation induits par le climat n'ont probablement pas été la principale cause de la disparition de la plupart des espèces de mégafaune dans le Cône Sud (latitude > 30 °S) à la toute fin du Pléistocène. Dans l'ensemble, ma thèse permet de mieux comprendre les mécanismes à grande échelle qui ont façonné les écosystèmes néotropicaux tels que nous les connaissons aujourd'hui, et de prévoir la réponse de ces écosystèmes aux futurs changements climatiques et à l'intensification continue des activités humaines.

**SUMMARY**

The last Ice Age ended around 19,000 years ago and was followed by a global warming that lasted around 7,000 years, giving rise to major vegetation changes on all continents. It was during this warming period that South America saw most of the large animal species that used to populate it disappear, and human population densities explode. However, the extent of the changes in vegetation, the effect of human on nature and the causes of the extinction are still poorly understood. By comparing the information provided by the fossil record and computer simulations of ecosystems, I show that climate change may have caused major changes in vegetation, but that their scale was probably insufficient to cause extinction. I also show that humans have had an increasingly important effect on nature over the last 12,000 years, to the point of disturbing our current understanding of the links between climate and vegetation.

**ABRÉGÉ**

*Réponse de la végétation et des écosystèmes au changement climatique et à l'expansion humaine après le dernier maximum glaciaire dans l’écozone néotropicale : modifications de la couverture terrestre et extinctions de la mégafaune* – *Thèse présentée par Antoine Champreux à l'Université Flinders en vue de l'obtention du titre de Docteur en Philosophie*

La dernière période glaciaire s'est achevée il y a environ 19 000 ans et a été suivie d'un réchauffement global qui a duré environ 7 000 ans, donnant lieu à des changements majeurs de la végétation sur tous les continents. C'est au cours de cette période de réchauffement que l'Amérique du Sud a vu disparaître la plupart des espèces animales de grande taille qui la peuplaient et que les densités de population humaine ont explosé. Cependant, l'ampleur des changements de végétation, l'effet de l'homme sur la nature et les causes de l'extinction sont encore mal connus. En comparant les informations fournies par les archives fossiles et les simulations informatiques des écosystèmes, je montre que le changement climatique a pu provoquer des changements majeurs dans la végétation, mais que leur ampleur était probablement insuffisante pour provoquer l'extinction. Je montre également que l'homme a eu un effet de plus en plus important sur la nature au cours des 12 000 dernières années, au point de perturber notre compréhension actuelle des liens entre le climat et la végétation.