CIENCIA
AL DIA*Internacional*
NOVIEMBRE, 1999 NUMERO 4 VOLUMEN 2

Copyright © 1999 Ciencia al Día

El Límite Glacial en Sudamérica y su papel en Biogeografía: Observaciones de Darwin.

© Robert M. Thorson 1999
thorson@geol.uconn.edu

RESUMEN

Darwin estuvo perplejo por el contraste abrupto en la vegetación que encontró cerca de Chiloé, en la cual los bosques australes eran reemplazados por aquellos de un caracter más tropical. El contraste que observó coincide con el límite Pacífico del campo de hielo cordillerano y es responsable parcialmente por el contraste de vegetación. Parte de la confusión aparente de Darwin puede haberse debido a su entendimiento erróneo de los depósitos glaciales.

ABSTRACT

Darwin was confused by the abrupt contrast in vegetation he found near Chiloé, in which the southern forests were replaced by those of a more tropical character. The contrast he observed coincides with the Pacific limit of the Cordilleran Ice Sheet, and is partly responsible for the vegetation contrast. Part of Darwin's apparent confusion may have been due to his erroneous understanding of glacial deposits.

Introducción

Charles Darwin tuvo su primera oportunidad para investigar la flora y fauna de Sudamérica en Salvador, Brasil el 29 de Febrero de 1831. Aquí, el describe la experiencia: *"¡Que delicioso día!. Pero la palabra delicioso es demasiado débil para expresar los sentimientos de un naturalista que, por primera vez, va errante por la selva Brasileña. La elegancia de las hierbas, la novedad de las plantas parásitas, la belleza de las flores, el deslumbrante verde de las hojas, pero por sobre todo el vigor y esplendor general de la vegetación, me llenaban de admiración.... Para una persona amante de la historia natural que experimenta en un día como tal un placer, una alegría intensa que no se puede esperar experimentar de nuevo."*

Tres años más tarde, el 29 de Junio, 1834, Darwin desembarcó en Ancud (conocida antiguamente como San Carlos) en la costa noroeste de Chiloé, una isla grande que incluye la extensión más austral de la cordillera de la costa en Chile. En su diario Darwin escribió: *" Los bosques (del norte de Chiloé) son incomparablemente más bellos que aquellos de Tierra del Fuego. En vez de la uniformidad sombría de ese país, aquí tenemos la variedad del paisaje tropical; exceptuando Brasil yo nunca he visto tal abundancia de formas elegantes."* Una segunda versión de esta misma experiencia está contenida en el Viaje del Beagle *"Desde la distancia la visión [del bosque] de alguna manera se parece al de Tierra del Fuego; pero los bosques son incomparablemente más bellos. Muchos tipos de árboles siempreverdes, y plantas con un carácter tropical, aquí toma el lugar de la haya [roble] sombría de las costas australes."* En este segundo pasaje, el cual es más restringido y científico que en la versión original, Darwin nos informa que, debajo de las similitudes obvias en la flora del bosque, allí yace una diferencia dramática.

¿Por qué Darwin estuvo tan conmocionado por la vegetación en la costa noroeste de Chiloé? En este artículo, se argumenta que es porque el Norte de Chiloé (y toda la costa chilena hacia el norte) escaparon la glaciación reciente. En contraste, el oriente y sur de Chiloé (y toda la costa chilena hacia el sur) estuvieron enterradas por Hielo por miles de años. Darwin, como naturalista perspicaz que era, reconoció aparentemente los efectos biogeográficos de este límite glacial, aún a pesar que él conocía que no coincidía con una transición climática. Parte de la confusión de Darwin puede haber surgido porque el apoyaba fuertemente la teoría, que luego resulto errónea, de la "deriva" para explicar el origen de los sedimentos glaciales; los

cuales eran depositados como hielos flotantes "a la deriva" en el océano, depositando su sedimento en lugares inusuales.

El propósito de este artículo no es documentar la presencia de un límite reconocible entre la flora del norte y sur de Chiloé. Si tal limite fitogeográfico existe en realidad, es probable que se encuentre en los elementos accesorios de la flora y la fauna más que en los taxones forestales dominantes, los cuales forman un mosaico complejo a nivel del mapeo existente (Otero et al., 1996). Tampoco es el propósito de este artículo discutir la paleobotánica de la costa de Chile con respecto al cambio climático, un tema que ha sido revisado por Villagrán et al., (1996), quienes demuestran que los ecosistemas fueron desplazados hacia el norte junto a la costa durante las edades glaciales, donde ellos sobrevivieron como poblaciones relictas. Más bien, mi propósito es demostrar: (1) que Darwin se dio cuenta de un cambio abrupto en el paisaje y la flora cada vez que el cruzaba sin darse cuenta el límite glacial, (2) que durante uno de estos cruces en Chiloé, el notó un notable contraste florístico, y (3) que la rudeza de los cambios paisajísticos en el límite glacial tomaron lugar dentro de un contexto de transiciones climáticas graduadas. Estos contrastes biogeográficos abruptos pueden haber contribuido al pensamiento tardío de Darwin acerca de poblaciones disjuntas y endémicas.

Localización

Chiloé es un archipiélago de islas junto a la costa de Chile Sudcentral en los 42º y 43º de latitud sur (Figura 1). La isla grande mide 150 km. de largo por 50 km. de ancho aproximadamente. Darwin vio primero la parte noroeste de la isla cerca de Ancud. Desde allí viajó por tierra a su extremo nororiental en Chacao. Entonces viajó por mar hacia el sur por el lado oriental de la isla hasta San Pedro, frecuentando muchos puertos y organizando excursiones hacia el interior. Más tarde, emprendió un segundo y más extensivo cruce hacia el interior entre Castro y Cucao, en la costa expuesta del Pacífico.

En vez de ser el extremo de una península, Chiloé es hoy una isla la cual está separada del resto de la cordillera de la costa al norte por el estrecho Canal de Chacao, el cual se origino de una corriente de aguas de deshielo expuesta durante la última glaciación cuando el nivel del mar estaba aproximadamente a 120 metros más abajo que actualmente. Geológicamente,

el lado occidental de Chiloé contiene el límite más austral de la cordillera de la costa en Chile, un cordón de rocas antiguas Paleozoicas manteadas por sedimentos Terciarios y rocas volcánicas las cuales afloran intermitentemente junto a la costa por más de mil seis cientos km. (Veit & Karsten, 1996; Servicio Nacional de Geología y Minería, n.d.). La cordillera de la costa en Chiloé está dominada por dos macizos resistentes de rocas antiguas, la Cordillera de Pirulil hacia el sur, la cual fue anulada por glaciares y la Cordillera de Piuchén al norte, el cual permaneció como un "refugio" libre de hielo. El lado oriental de Chiloé es parte del valle longitudinal de Chile. Consecuentemente, este es el campo bajo continuamente manteado por depósitos cuaternario glaciales (Heusser & Flint, 1977).

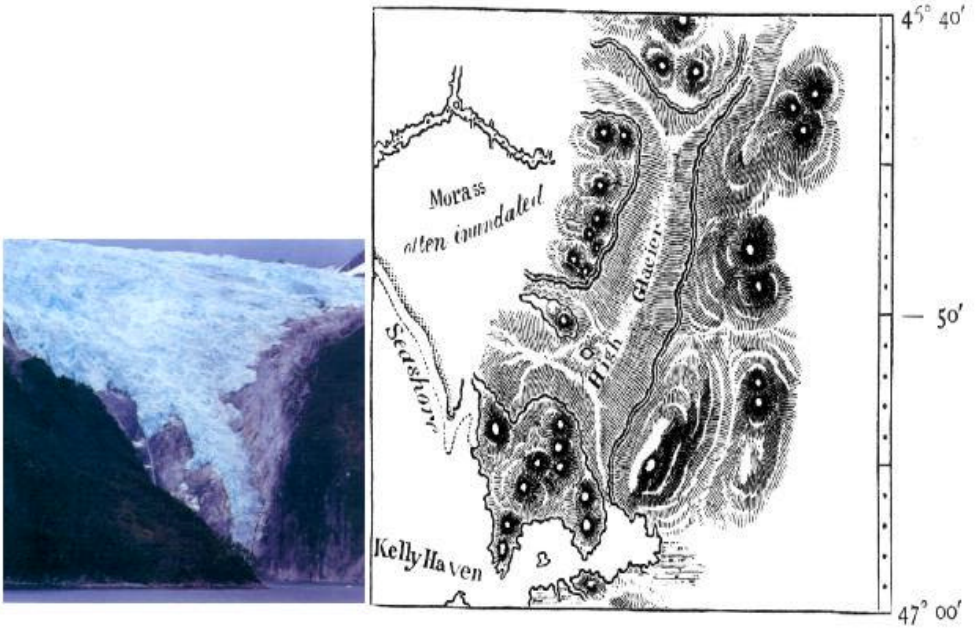

Figura 1. Mapas ilustrando movimientos de Darwin a través del límite del último máximo glacial. (a.) Bosquejo del casquete de hielo cordillerano en Sudamérica (sombreado gris) y la distribución de glaciares modernos (negro) según Shilling & Hollin, 1981. Los tres cruces de Darwin del límite glacial están mostrados por flechas. (b.) Vista expandida del área entre 40 y 45 grados de latitud mostrando el límite glacial en Chiloé y partes adyacentes de la cordillera de la Costa, según Heusser & Flint, 1977 y Porter, 1981. las tierras no glaciadas (blanco) fueron objeto al drenaje de aire seco frío procedente de los casquetes de hielo.

El límite externo del campo de hielo cordillerano en la escala continental está resumida por Hollin & Shilling (1981). Esencialmente, la extensa glaciación de los Andes durante el Pleistoceno fue causado por cambio hacia el norte de la zona de convergencia entre las masas de aire polar y subtropical por tanto como 5-7 grados de latitud (Kerr & Sugden, 1994). Asociados con este cambio hubo una caída cercana a un kilómetro en la línea de nieves en los Andes (Porter, 1981), lo cual coincidió con una migración hacia el norte en la banda de precipitación de Chile central y austral (Heusser, 1981). La última expansión significativa de los glaciares, la Glaciación Llanquihue (Heusser & Flint, 1977), tomó lugar entre los 40,000 y 15,000 años AC, que culminó cerca de 20,000 años atrás. Al menos tres glaciaciones más tempranas son reconocidas, pero permanecen sin datación; ellas anteceden a la última interglaciación, la cual tomó lugar en algún tiempo entre 80,000 y 125,000 años atrás.

Los glaciares se expandieron desde los Andes hacia afuera en todas las direcciones, pero alcanzaron su mayor extensión hacia el Oeste, la dirección de la humedad Pacífica. En el lado oriental de los Andes el límite glaciar yace dentro del piemonte de Argentina, y es definido por morrenas de lóbulos de hielo de drenaje oriental en valles glaciales. Más hacia el sur, pero todavía sobre el lado continental oriental, la cubierta glaciar fue más extensa, alcanzando el lado oriental del estrecho de Magallanes. Hacia el Oeste y norte los glaciares se extendieron más allá que la costa actual, donde ellos esculpieron valles dentro del mar. El límite entre el término marítimo y el límite terrestre hacia el norte en la región de los Lagos de Chile se localiza en Chiloé, donde el borde entre el último casquete de hielo es muy evidente en la topografía, especialmente entre Castro y Ancud, un transecto cubierto por Darwin en uno sus viajes al interior, y descrito en algún detalle. El límite también es paralelo al lado norte del valle del Lago Huillinco-Lago Cucao, donde fue cruzado por Darwin en su camino a Punta Huentemó, en la costa del Pacífico.

La última glaciación no fue la más extensa. Esa distinción está reservada para una serie discontinua de morrenas y de depósitos glaciales llamados la deriva Río Llico por Porter (1981), la cual aparentemente cubrió todo Chiloé, y su límite se ubicó al norte del Canal de Chacao dónde se apoyó contra la cordillera costera (conocida localmente como la Cordillera de Zarao). La edad de este límite no es conocida. Su importancia descansa en el hecho que el terreno norte del límite más externo ha estado disponible

continuamente para el crecimiento de plantas desde el origen de la flora austral durante la era Cenozoica.

Norte del límite glacial

La costa atlántica de Sudamérica al norte de Tierra del Fuego, es un campo sin glaciación dominado por planicies litorales. En su viaje al Sur, el Beagle transitó a través de dos gradientes climáticos, los cuales son evidentes claramente en los mapeos climáticos, vegetacionales, y de suelos (FAO-UNESCO, 1971). El primer gradiente, fue el decrecimiento general en temperatura con latitud creciente (El Beagle cruzó más que 40 grados de latitud en la costa atlántica). El segundo, más otros cambios complicados, fueron aquel gradiente involucrando diferencias en la resultante efectiva de ambos gradientes, el del patrón global de circulación atmosférica, así como también el de los efectos más locales de la orografía y continentalidad. En ruta, Darwin encontró un espectro casi continuo de tipos [biomas] forestales que se gradan desde los bosques siempreverdes tropicales húmedos de Brasil hasta alcanzar las estepas patagónicas frías antes de dirigirse al oeste dentro del reino húmedo Pacífico. Como el Beagle navegó hacia el sur a través de estos gradientes latitudinales y de precipitación, Darwin notó que la diversidad y la densidad de taxones y cubiertas forestales, respectivamente, declinaban. Documentando estos cambios en vegetación, particularmente como ellos pertenecieron a cambios climáticos gobernándolos, fue una de las temáticas generales de las observaciones de Darwin, a pesar que él fue muy anecdótico y no sistemático en este respecto. Por ejemplo, el 23 de Diciembre de 1833, Darwin notó en Puerto Deseado que "la zoología Patagónica es tan limitada como su Flora." varias semanas más tarde, el 9 de Enero, el estaba en Puerto San Julián, 177 km. más al sur, observando que "El paisaje es muy parecido a ese de Puerto Deseado, pero quizás mucho más estéril." En la latitud de las islas Malvinas (Falkland) el escribió, el 1 de Marzo de 1833 "El teatro de la acción es bien digno de las escenas que allí ocurren. Es una tierra ondulada, de aspecto desolado y triste, recubierta en todas partes por turberas y pastos coirones, por doquiera se ve el mismo color pardo y monótono."

Así como la flora llegaba a ser menos interesante, los escritos de Darwin se mudaron desde la taxonomía vegetal hacia otros temas, en especial la paleontología de vertebrados, biología marina, geología tectónica y glacial, hasta los habitantes humanos (particularmente los gauchos y los fueguinos), y los vertebrados inusuales (cóndores, guanacos, pumas). Esta parte de su diario y del Viaje del Beagle, son fascinantes en su naturaleza idiosincrática.

Entonces algo pasó cuando Darwin cruzó dentro del estrecho de Magallanes. En sus propias palabras:

A fines del mes de Mayo de 1834, penetramos, por segunda vez, en la boca oriental del Estrecho de Magallanes. El país, en ambos costados de esta parte del estrecho, consiste en llanuras casi a nivel, similares a las de la Patagonia. El cabo Negro, que se encuentra algo al interior de la segunda angostura, puede ser considerado como el lugar en que la tierra empieza a adquirir los caracteres distintivos de Tierra de Fuego. En la costa oriental, al sur del estrecho, un paisaje quebrado similar a un parque une también estos dos países, cuyos caracteres están opuestos en absoluto los unos a los otros, a tal punto que uno se queda asombrado al ver un cambio tan completo en el paisaje en un espacio de veinte millas [32 km.]. Si examinamos una distancia más considerable, unas sesenta millas [97 km.], por ejemplo, entre Puerto de Hambre y Bahía Gregorio, la diferencia es aún más asombrosa. En Puerto de Hambre se hallan montañas redondeadas encubiertas por bosques impenetrables, casi siempre anegadas por la lluvia originada por una sucesión interminable de tempestades; en el cabo Gregorio, al contrario, un magnífico cielo azul, una atmósfera muy clara, se extiende por encima de las llanuras secas y estériles.

Dentro del límite glacial

Darwin atribuyó este contraste abrupto en el paisaje a un cambio en la circulación atmosférica, la cual, en realidad, se presenta claramente a través del estrecho de Magallanes. Sin embargo, lo abrupto de la transformación del paisaje tiene una causa más específica y local. Es aquí donde Darwin primero entró al paisaje glacial Cordillera del Pacífico al cruzar su límite oriental. A pesar que él no lo supo entonces, el estaba observando los efectos de la erosión glacial bajo un casquete de hielo marino de base húmeda, cuyo efecto fue redondear las cumbres de las montañas bajas, profundizar y aplanar los lados de los valles como fiordos, reemplazar los paleosuelos con roca pulida recientemente, y donde los ecosistemas más antiguos eran más jóvenes que la data del retiro del casquete de hielos. Fundamentalmente, esta descripción aplicada a todo se observaría entre el lado oriental del estrecho de Magallanes y el norte de Chiloé, más de mil seiscientos kilómetros hacia el norte. Es evidente que los contrastes climáticos controlando la vegetación hoy son también aquellos responsables por la distribución pasada del hielo glacial. Sin embargo, lo abrupto de los límites del paisaje notados por Darwin a ambos lados del casquete de hielo, el cual ahora sabemos que coincide con el límite

glaciar, sugiere que el perspicaz naturalista reconoció el efecto de los límites del hielo sobre el paisaje.

Darwin había encontrado el límite glaciar antes, sobre el flanco oriental de los Andes, durante su excursión hacia la cabecera del Río Santa Cruz. Al describir el cambio en el río el anotó: *"Los guijarros de pórfido, perfectamente redondeados, se encuentran mezclados con inmensos fragmentos angulares de basaltos y de rocas primitivas. Veo aquí, a 67 millas [108 km.] de distancia de la montaña más próxima, los primeros bloques erráticos; medí uno que tenía 5 metros cuadrados.... la llanura ya no es tan llana aquí como al borde del mar, sin embargo, no se ve signo alguno de cataclismo. En estas circunstancias, creo que es absolutamente imposible explicar el transporte de estas gigantescas masas de roca a una distancia tan grande de la montaña fuente, de donde provienen con toda seguridad, más que por la teoría de los hielos flotantes [29 de Abril de 1833]."* Ahora sabemos que el estaba equivocado; que los pedruscos eran evidentes en lugares que el río Santa Cruz cortaba a través de su morrenas más externas. Es evidente en este pasaje, especialmente en sus primeras secciones sin citar, que Darwin pensó que el límite glacial era una zona de transición, en vez de un límite abrupto.

Una vez dentro del límite glacial en Tierra del Fuego, monotonía, en vez de diversidad, llegó a ser la temática general de los escritos de Darwin. Allí, erosión profunda, en vez de deposición de cantos rodados colosales o terrazas de grava fue el tema dominante del paisaje. Darwin mantuvo un desdén particular por la simplicidad del bosque costero. Aquí hay algunos ejemplos, arreglados en orden cronológico: *"Nunca vi un prospecto más sombrío. Los bosques sombríos...Ya he hablado del carácter sombrío y triste que ofrecen estos bosques siempreverdes, en los cuales crecen dos o tres especies de árboles con exclusión de todas las demás [Junio 1, 1834]. Como era de esperar, dada la naturaleza del clima y vegetación, la zoología de Tierra del Fuego es muy pobre... Algunas aves moran en esos bosques tan sombríos.. en las quebradas más sombrías, húmedas e impenetrables [Junio 1, 1834]. Nos dirigimos directamente al sur, siguiendo ese sombrío canal...y que aparece conducir a otro mundo más terrible que este. [Junio 8, 1834]. Las faldas montañosas, excepto sobre la costa occidental expuesta, están cubiertas desde la costa hacia arriba por un gran bosque. Todos los árboles pertenecen a una especie, el Nothofagus betuloides, ya que el número de otras especies de fagáceas y laurácea canelo (Drymis winteri) no es considerable. Esta haya conserva sus hojas todo el año, pero presentan un color verde*

parduzco con un ligero tinte amarillo muy peculiar. Todo el paisaje se reviste del mismo tono, lo que le da un aspecto triste y sombrío, siendo muy raro que le den un poco de alegría los rayos del sol [17 de Diciembre de 1832]. ¡Que misteriosa grandeza en aquellas montañas que se elevan unas tras otras, dejando entre sí profundos valles, valles y montañas cubiertos por una sombría masa de bosques impenetrables! [Dic. 20, 1832]."

Darwin consideró a este clima miserable, con su monótono bosque, extendiéndose por la costa oeste de Sudamérica hacia el Norte. *"salvo un pequeño aumento de calor, el clima uniforme, húmedo y ventoso de Tierra del Fuego se extiende siguiendo la costa occidental del continente. Los bosques que cubren la costa por 600 millas [960 km.], al norte del cabo de Hornos presentan casi un aspecto análogo. [Junio 10, 1834]."*

Norte del límite glacial, nuevamente

Podemos contrastar la visión de Darwin de los bosques costeros más australes a lo que el encontró cerca de Chiloé *"Aunque el clima húmedo y uniforme de Chiloé, y de las costas situadas al norte y sur convienen tan poco a nuestros frutos, sin embargo las selvas indígenas, desde el grado 45º al 38º de latitud, rivalizan por su hermosa exuberante vegetación con las selvas espléndidas de regiones intertropicales. Magníficos árboles de corteza lisa y admirablemente coloreadas, pertenecientes a una multitud de especies se hallan cargadas por plantas parasíticas monocotiledóneas; por todas partes se encuentran numerosos inmensos helechos elegantísimos, y gramíneas arborescentes que envuelven los árboles en una masa en una masa impenetrable hasta una altura de treinta o cuarenta pies sobre el suelo [Junio 10, 1834]."* En mi interpretación de esta sentencia, Darwin identifica Chiloé como el lugar donde las formas tropicales son características, mientras simultáneamente indicando que el cambio climático principal tomó lugar alrededor de los 45º de latitud sur, el cual reconoce como el límite norte en el cual la turba puede acumularse. Darwin también reconoció una tercera zona climática en Chile central, localizada generalmente al norte de Concepción, y de un carácter mediterráneo. El clima y vegetación de esta región no nos concierne aquí.

A pesar que no es específico acerca de la transición entre estas zonas climáticas, Darwin fue enteramente específico acerca de la localización del cambio en el paisaje. Cuando se compara la parte sudoriental más fuertemente glaciada de Chiloé (Isla San Pedro) con la parte no glaciada del noroeste

(Ancud), Darwin tenía esto para decir: *"los bosques aquí [San Pedro] son algo diferentes en apariencia de aquellos de las partes septentrionales de la isla. Las rocas, están formadas de esquisto micáceo lo que es causa que no haya playa, sino que las empinadas ladera rocosas se sumergían directamente bajo el agua. El paisaje recuerda más, por lo tanto, al de Tierra del Fuego que el de otras partes de Chiloé." [Diciembre 1, 1834].* En un párrafo posterior sobre el mismo día, Darwin refuerza su comparación entre el sudeste de Chiloé y Tierra del Fuego al documentar la presencia de la haya austral [*Nothofagus*], *"tuve la fortuna de volver a ver a una altura poco menor a mil pies a nuestra antigua amiga el haya austral. Pero éstas no son aquí sino pobres árboles achaparrados y, según creo, este lugar debe estar muy cercano a su límite septentrional."* De este par de sentencias, yo llego a la conclusión que Darwin sabía, quizás instintivamente, que el estaba muy cerca de un gran límite biogeográfico. Es un aspecto curioso de sus escritos que su primera mención sobre las hayas australes tomó lugar al cruzar el límite glacial en el estrecho de Magallanes. Y es aquí, en el límite norte del casquete de hielo, es su última mención de estos grandes árboles, el cual el ahora reconoce como a un viejo amigo.

Habiendo esbozado la comparación entre la parte sudoriental de Chiloé y Tierra del Fuego, Darwin tuvo entonces una oportunidad para continuar hacia el sur hasta el archipiélago Chonos. Allí, después de observar la abundancia de hayas australes y la ausencia conspicua de *"la hierba arborescente de Chiloé"* el llegó a la conclusión que *"Aquí, dentro del archipiélago Chonos, la naturaleza del clima se parece más al de Tierra del Fuego que al del norte de Chiloé. [Enero 7, 1834]."* Note que Darwin es específico acerca de cual parte de Chiloé se refiere. De tal forma, basado en los escritos de Darwin, la transición climática relativamente gradual a lo largo de la costa del Pacífico yace cerca de la latitud 45 grados. Sin embargo la transición biogeográfica es más abrupta, tomando lugar en algún lugar al sur de Ancud, en Chiloé. Y es justo aquí donde se localiza el límite glacial.

Darwin y deriva

El viaje de Darwin en el Beagle tomó lugar durante el tiempo cuando la teoría glacial estaba siendo desarrollada, primariamente por Louis Agassiz en Suiza. El término "teoría glacial" se refiere a la expansión de casquetes de hielo alpino y de latitudes medias en respuesta a cambios globales en clima, y al impacto de tales expansiones sobre el paisaje. Un impacto importante de

los glaciares sobre el paisaje fueron los depósitos de "till" un término utilizado para definir la mezcla de cantos rodados quebrados grandes, estratos depositados por agua, y fango pedregoso masivo que es depositado a medida que el glaciar pasa sobre un paisaje. Anterior a nuestro moderno entendimiento de la sedimentación glacial, esta mezcla enigmática de depósitos era referida como una "deriva" porque se alegaba que había sido depositada por la deriva de témpanos de hielo en océanos fríos. Charles Lyell, el prominente geólogo de comienzos del siglo XIX, cuyo libro "Principios de Geología" fue un compañero constante de Darwin que fue más bien un partidario de la teoría de "deriva", que de aquella denominada teoría "glacial". Basado en los registros del diario de Darwin, así como también en extensos pie de páginas al final de su capítulo sobre el estrecho de Magallanes, se deduce que Darwin permaneció un "drifter" a lo largo de su vida.

La resumen al final del capítulo de Darwin sobre el estrecho de Magallanes contiene una recapitulación sin fecha de sus observaciones. En esta, el declara: *"Yo no detallaré aquí cuan simplemente la teoría de hielos flotantes es cargada con fragmentos de roca, que explica el origen y posición de los gigantescos bloques erráticos del oriente de Tierra del Fuego, sobre la alta planicie de Santa Cruz, y sobre la isla de Chiloé....Muy pocos geólogos dudan hoy día que aquellos bloques erráticos que se encuentran cerca de las altas montañas hayan sido llevadas allí por los mismos glaciares, y que los que se encuentran a una gran distancia de las montañas, hundidos en las capas subacuosas, hayan sido acarreados a tal lugar por hielos flotantes, o retenidos por congelación en el hielo de la costa."* En este relato Darwin menciona sólo tres lugares como conteniendo grandes cantos rodados, erróneamente interpretados de haber "derivado" dentro de su posición actual por hielo marino. Estos tres lugares, y solamente estos tres, son aquellos dónde Darwin tuvo una oportunidad para inspeccionar el límite glaciar en su extensiones oriental, sur, y occidental. El valle del río Santa Cruz fue ocupado por una lengua del glaciar descendiendo desde los Andes argentinos. La Tierra del Fuego oriental caracteriza al límite austral del casquete de hielo. Y Chiloé es su límite occidental. Cantos rodados erráticos se presentan en otras partes en las morrenas cerca de los límites glaciares, pero Darwin no tuvo acceso a estas localidades. Así, Darwin mismo coloca al límite glacial en fronteras bioestratigráficas importantes.

Tiempo, terreno, y biografía

El límite glacial cerca de Chiloé representa una barrera biogeográfica importante. Con respecto al tiempo, el límite es más cortante en el tiempo de deglaciación, cuando la tierra hacia el sur estaría desnuda, libre de suelo, y escombros, mientras que la tierra inmediatamente al norte era una turbera húmeda adaptada al frío (Villagrán et al 1996). Sin embargo, a través del tiempo, la frontera ha llegado a ser difusa a medida que las plantas se dispersaban a través de este, y como las comunidades de plantas y animales re-establecieron sus interdependencias. Provisto que el material de substrato es similar a ambos lados de un límite de hielo, 15,000 años de condiciones libres de hielo puede entregar un contraste biogeográfico en los taxones dominantes difícil de detectar. Solamente en los niveles más superiores estará presente.

Con respecto al espacio, el límite glacial no es una línea cortante, excepto una zona, quizás unas pocas docenas de kilómetros de ancho. El borde interno de esta zona es el límite del último máximo glacial. El borde externo de esta zona es el límite más externo de glaciación cubriendo toda las edades. Dentro del límite Llanquihue, la edad máxima de la superficie sobre la cual las plantas pudieron colonizar es cerca de 18,000 años. Las diferencias locales en condiciones edáficas, esencialmente relieve y drenaje, representa erosión diferencial del paisaje anterior y el deposito de materiales. En Chiloé esto es extremadamente importante porque las lomas bien drenadas son morrenas, las llanuras planas son cuencas lacustres, y las terrazas ripiosas son antiguas descargas de aguas de deshielo. Los suelos que se desarrollaron sobre estos depósitos son generalmente Cambisoles dístricos y Andisoles húmicos, llamados localmente suelos de Trumao. Los únicos cambios climáticos experimentados por estas áreas son aquellas asociadas con la época postglacial, generalmente una de calentamiento rápido y condiciones menos húmedas durante los últimos 10,000 años, un período llamado el Holoceno.

Más allá del límite de la Glaciación Llanquihue, excepto dentro de la frontera del límite glacial más externo, el terreno tiene una historia más compleja. La complejidad de los hábitat edáficos originalmente cerrados por la acción glacial han sido modificados por sepultación de material eólico, por formación de suelo, y por erosión. Además, esta zona ha sido objeto a pulsos frecuentes de cambios abruptos en clima local asociados con expansiones del casquete de hielo cordillerano. Notable entre estos, es el efecto local de

drenaje del aire frío en el cual los vientos del oeste conducidos por densidad desde los Andes habrían sido concentrados por el borde del glaciar (Figura 1).

Afuera el límite máximo de la Glaciación cuaternaria, la cual yace justo al norte del Canal de Chacao, la edad máxima de la superficie excede la edad de la flora misma. Este terreno ha estado disponible continuamente para ecosistemas terrestres a través del Cenozoico. Las diferencias locales en relieve y drenaje resulta primariamente del balance entre la producción de suelos por medio de intemperización de largo plazo, y su remoción por erosión. Los suelos generalmente son antiguos, rojizos, y ricos en arcilla clasificada como Nitisoles dístricos, y conocidos localmente como Rojo Arcillosos.

Es aquí, en la parte sur de la cordillera costera, norte del límite de glaciación, donde uno puede encontrar la combinación máxima de litología variable, hábitat locales, y presiones climáticas pronunciadas, tomando lugar sobre una superficie antigua la cual ha estado continuamente disponible a inmigración desde el norte, y la migración externa desde la región glaciada. Es en esta zona, cerca de Valdivia, donde la riqueza más alta de especies forestales ocurre y dónde los endémicos de rango estrecho están concentrados (Villagrán et al., 1996). En realidad, mucho trabajo ha sido hecho por palinólogos en lo concerniente a la respuesta de los taxones de plantas al forzamiento climático cuaternaria. El reconocimiento de Darwin de la distinción entre los bosques del norte y Sur de Chiloé no es solamente un testamento a sus poderes de observación, pero este también nos provee de un punto focal para concentrar una mayor investigación sobre la importancia del límite glacial mismo para la fitobiogeografía.

Agradecimientos

Apoyo financiero durante la preparación de este manuscrito fue proveída por la Comisión binacional Fulbright entre EE.UU. y Chile. muchas de las ideas se originaron durante discusiones con los asistentes al simposio "Darwin en Chiloé," efectuado en Noviembre de 1998. Agradezco el apoyo de Luis Chirino y Adrián Palacios quienes compartieron sus ideas, materiales, y experiencia técnica durante la preparación del manuscrito, y a Ricardo Rozzi por su invitación a Chiloé.

Referencias

Armesto, J.J., Rozzi, Ricardo, and Leo-Lobos, Pedro M., 1996, Ecology of Chilean Forests: Synthesis and Prospects. Capitulo 21 in Armesto, J.J., Villagrán, Carolina, and Arroyo, M.K., 1996, Ecología de los bosques nativos de Chile, Vicerrectoria Academica y Estudiantil Universidad de Chile, p. 405.

Barlow, Nora, 1969, Charles Darwin's Diary of the Voyage of H.M.S. "Beagle." New York, Cambridge Univ. Press,

FAO-Unesco, 1971, Soil Map of the World, V. IV, South America. Paris, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

Kerr, A., and Sugden, D., 1994, The sensitivity of the southern Chilean snowline to climate change: Climatic Change, v. 28, no. 3, p. 255-272.

Heusser, C.J., and Flint, R.F., 1977, Quaternary glaciations and environments of northern Isla Chiloé, Chile: Geology v. 5, p. 305-308.

Mercer, J.H., 1982, Holocene glacier variations in southern South America: Striae, v. 18, p. 35-40.

Mpodozis, C. and Allmendinger, R.W., 1993, Extensional tectonics, Cretaceous Andes, northern Chile (27*S): Geological Society of America Bulletin, v. 105, p. 1462-1477.

Muniz, Mariella Arguelles, 1994, Geografía de Chile, Santillana del Pacífico S.A., de Ediciones , ISBN 956-15-0314-X., 256 p.

Otero, Luis D., Contreras, Alvaro, Barrales M., Luis, and Monfil C., Tomás, 1996, Proposiciones para el desarrollo socio-económico de Chiloé: Ambiente Hoy, V XII, No. 2, pp 24-32.

Porter, S.C., 1981, Pleistocene Glaciation in the Southern Lake District of Chile: Quaternary Research, v. 16, p. 263-292.

Servicio Nacional de Geología y Mineria, n.d., Mapa de Geología de Chile., escala 1 : 6,000,000.

Thorson, R. M., and Schile, C. A., 1995, Deglacial eolian regimes in New England: Geological Society of America Bulletin, v. 107, p. 751-761.

Veit, Heinz, and Garleff, Karsten, 1996, Evolution of the Quaternary Landscape and Soils in South-Central Chile. Capítulo 2 in , J.J., Villagrán, Carolina, and Arroyo, M.K., 1996, Ecología de los bosques nativos de Chile, Vicerrectoria Académica y Estudiantil Universidad de Chile, p. 29.

Hollin, J.T., and Schilling, D.H.,1981, Late Wisconsin-Weichselian Mountain Glaciers and Small Ice Caps. Chapter 3 in Denton, G.H. and Hughes, T.J., 1981, The Last Great Ice Sheets. New York, John Wiley & Sons, p. 179-206.

Villagrán, Carolina, Moreno, Patricio, and Villa, Rodrigo, 1996, Palynological Evidences About the Quaternary History of Chilean Forests. Capitulo 3 in , J.J., Villagrán, Carolina, and Arroyo, M.K., 1996, Ecología de los bosques nativos de Chile, Vicerrectoria Académica y Estudiantil Universidad de Chile, p. 51.

Glosario

Condición Edáfica: Propiedades físico, químicas y biológicas del sustrato o suelo, las cuales influencian la biota asociada.

Cuenca lacustre: Área baja en la cual los sedimentos de un lago se acumulan.

Morrena: Lomaje o sedimentos formados a partir de derivas glaciales no estratificada, depositado por acción directa del hielo glacial.

Robert Thorson, PhD es profesor de Geología, geofísica, y antropología en la Universidad de Connecticut (USA), donde es miembro del directorio del Connecticut State Museum of Natural History. Es también profesor visitante y un Fulbright Scholar en el Departamento de Obras Civiles en la Universidad Técnica Federico Santa Maria (1999). Su investigación se especializa en reconstrucción de paleoambientes físicos a partir de evidencia sedimentaria.