

LA RESTAURACIÓN ECOLÓGICA EN VENEZUELA FUNDAMENTOS Y EXPERIENCIAS



**FRANCISCO HERRERA
ILEANA HERRERA**
Editores

Consejo Directivo

Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas

Director

Ángel L. Viloría

Subdirector

Rubén Machado

**Representante del Ministerio del Poder Popular para
Ciencia, Tecnología e Industrias Intermedias**

Máximo García Sucre

**Representante del Ministerio del Poder Popular para
la Educación Superior**

Prudencio Chacón

Representantes Laborales

Jesús Acosta

María Celia Sulbarán (suplente)

Evencia Bernal (suplente)

Gerencia General

Lira Parra

Comisión Editorial**Coordinador**

Ángel L. Viloría

Horacio Biord, Erika Wagner,

Eloy Sira, Rafael Gassón,

Jesús Eloy Conde, Héctor Suárez,

Lucía Antillano, María Teresa Curcio,

Pamela Navarro

Ediciones IVIC

Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas

RIF G-20004206-0

**La restauración ecológica en Venezuela:
fundamentos y experiencias**

Francisco Herrera e Ileana Herrera

Editores

Coordinación Editorial: Pamela Navarro

Diseño y arte final: Pascual Estrada

Fotografía de portada: Carla Ivette Aranguren

Impresión: Grupo Intenso

Depósito legal: lf660211574736

ISBN: 978-980-261-125-6

Altos de Pipe - Venezuela

2011

Cita recomendada:

Para la obra completa:

Herrera F & I Herrera (Eds.). 2011. *La restauración ecológica en Venezuela: fundamentos y experiencias*. Ediciones IVIC, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Caracas, Venezuela. 244 pp.

Para un artículo:

Sarmiento L & LD Llambí. 2008. Regeneración del ecosistema páramo después de un disturbio agrícola: síntesis de dos décadas de investigaciones en sistemas con descansos largos de la cordillera de Mérida. En: *La restauración ecológica en Venezuela: fundamentos y experiencias*. Herrera F & I Herrera, Eds. Ediciones IVIC, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas, Venezuela. pp. 123-145.

Índice

Prefacio	6
Introducción	
La restauración ecológica hoy, una demanda del futuro	9
Francisco F. Herrera	
Sección I	
LA SUCESIÓN ECOLÓGICA COMO BASE PARA LA RESTAURACIÓN DE ECOSISTEMAS EN VENEZUELA	
Degradación de laderas durante el ciclo triguero en los Andes venezolanos y factores que limitan su restauración	17
Lina Sarmiento y Julia K. Smith	
Regeneración natural inducida y plantaciones forestales con especies nativas: potencial y limitaciones para la recuperación de bosques tropicales degradados en los Llanos Occidentales de Venezuela	35
Mauricio Jerez, Ana Quevedo, Ana Yajaira Moret, Miguel Plonczak, Vicente Garay, Lawrence Vincent, José David Silva y Luis E. Rodríguez Poveda	
Efecto de la perturbación producida por el establecimiento de conucos tradicionales Piaroa sobre las micorrizas arbusculares en la Reserva Forestal Sipapo, estado Amazonas	61
Alicia Cáceres, Carolina Kalinhoff, Leonardo Lugo y Alberto Villarreal	
Sucesión secundaria después de actividades agrícolas en el bosque semidecidual, península de Paria, Venezuela: aplicación para un programa de restauración	73
Argelia Silva Ríos	
Significado ecológico de las sabanas y zonas de transición sabana-bosque en el mosaico de vegetación de la Gran Sabana. Recomendaciones para el manejo y la recuperación de áreas degradadas por el fuego	97
Bibiana Bilbao, Alejandra Leal, Carlos Méndez, Anaís Osío y Zamira Hasmy	
Regeneración del páramo después de un disturbio agrícola: síntesis de dos décadas de investigaciones en sistemas con descansos largos de la cordillera de Mérida	123
Lina Sarmiento y Luis Daniel Llambí	
Sección II	
LA RESTAURACIÓN EN PRÁCTICA: ALGUNAS EXPERIENCIAS EN VENEZUELA	
Gestión sostenible del bosque inundable mediante la participación comunitaria en Mapire, estado Anzoátegui, Venezuela	149
Rafael Rodríguez-Altamiranda, Saúl Flores y Rafael Herrera	
Calidad del suelo en zonas rehabilitadas de una mina de bauxita	165
Ismael Hernández-Valencia, Magaly Pérez y Mario Lisena R.	
Rehabilitación de la vegetación en una mina de bauxita en Venezuela	177
Elizabeth Gordon, Fernando Alessi, Arhen Estrada y Mario Lisena R.	
Ensayos preliminares para la restauración de áreas degradadas por la actividad de extracción de arena en la península de Macanao, isla de Margarita	199
Laurie Fajardo, Jon Paul Rodríguez, Valois González y José Manuel Briceño	
La restauración ecológica de los bosques ribereños del bajo Caroní	215
Valois González, Elio Briceño y Boanerges Ramos	
Autores	239

Degradación de laderas durante el ciclo triguero en Los Andes venezolanos y factores que limitan su restauración

Lina Sarmiento* y Julia K. Smith

*Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE),
Facultad de Ciencias, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.*

*lsarmien@ula.ve

Resumen

En los Andes venezolanos el trigo fue introducido poco tiempo después de la llegada de los españoles y continuó por casi 400 años, principalmente en los valles secos interandinos, entre los 2.000 y 3.600 m de altitud, muchas veces sobre laderas con pendientes pronunciadas. Los ambientes utilizados correspondieron al bosque siempre verde seco en la parte inferior y al páramo en la parte superior. La tecnología de producción fue traída de España y no contempló prácticas efectivas de mantenimiento de la fertilidad ni control de la erosión, por lo que el sistema triguero dejó una fuerte impronta de degradación y erosión en los paisajes andinos. Muchas de las áreas cultivadas se encuentran abandonadas desde hace varias décadas, pero la vegetación natural sólo ha recolonizado muy parcialmente. En este trabajo se utilizaron tres escalas de análisis para evaluar el impacto ecológico del sistema triguero. A escala regional se analizó la historia del sistema triguero en los Andes venezolanos, se identificaron las áreas que fueron importantes en la producción de este cereal y se caracterizaron las tecnologías de producción y su impacto ambiental. A escala local se trabajó en el valle alto del río Chama, uno de los grandes centros trigueros en los Andes merideños, donde se cuantificó y caracterizó el área degradada y se evaluaron los factores que limitan la restauración. Finalmente, a escala de parcela, se realizó un experimento para analizar la respuesta de la vegetación a diferentes manipulaciones. Como factores que podrían estar limitando la recuperación espontánea de las zonas degradadas se evaluaron: la presencia actual de pastoreo, la pérdida de la fertilidad debido a la erosión y extracción de nutrientes, la distancia a las fuentes de propágulos y la compactación del suelo. Los resultados permiten concluir que la principal causa de degradación es la pérdida de materia orgánica del suelo, debido sobre todo a la fuerte erosión, lo que explicaría la presencia de sucesiones ecológicas “detenidas”. El pastoreo extensivo actual no parece ser una causa fundamental que frene la recuperación, aunque presiones de pastoreo más altas en el pasado pudieron haber contribuido a la degradación. Dado el tipo de impacto, las estrategias de restauración deben estar dirigidas a la acumulación de materia orgánica, la cual permitiría mejorar la capacidad de regulación hídrica y reestablecer los reservorios de nutrientes del ecosistema.

Palabras clave

Andes, erosión, laderas degradadas, Mérida, páramo, pastoreo, trigo.

INTRODUCCIÓN

La fragilidad de las laderas constituye uno de los principales problemas para el manejo sustentable y la conservación de la biodiversidad en áreas montañosas, donde prevenir la degradación, en particular la erosión, es un aspecto prioritario. Lo anterior es especialmente válido en las montañas tropicales, las cuales han sido utilizadas para agricultura y pastoreo por siglos, debido a sus condiciones ambientales de clima frío dentro del trópico. Sin embargo, estas montañas albergan ecosistemas de alta diversidad biológica, como el páramo andino, que es importante conservar o restaurar. En los Andes de Venezuela, el cultivo de trigo que comenzó durante la colonia española fue responsable de la progresiva degradación de grandes extensiones de tierra situadas entre los 2.000 y los 3.600 m de altitud, principalmente en las laderas de los valles interandinos secos. Cuando el auge de este cultivo llegó a su fin, a mediados del siglo XX, quedó un paisaje degradado, en el cual una proporción importante de las áreas previamente cultivadas permanecen abandonadas hasta nuestros días, o se utilizan únicamente para el pastoreo extensivo a pesar de su baja capacidad de carga. En los últimos 40 a 60 años, la vegetación natural sólo ha recolonizado parcialmente las áreas degradadas, presentándose una vegetación con baja cobertura y con una composición diferente a la del páramo natural, lo que indica la poca reversibilidad del proceso de degradación.

Ya desde la década de los cuarenta los técnicos opinaban que el cultivo de trigo generaba erosión e identificaban este problema como el más importante en algunas áreas trigueras, como en las cabeceras del río Chama (Velázquez 2004). Para controlar la erosión, el Ministerio de Agricultura y Cría (MAC) comenzó en esta época a aplicar una serie de medidas a través del Servicio de Conservación y Utilización Racional de los Suelos, incluyendo prácticas mecánicas como la construcción de terrazas y hoyos abiertos para controlar la escorrentía superficial (Figura 1a), y la forestación con pinos y eucaliptos.

Luego, a partir de 1960, el MAC implementó el Programa de Subsidio Conservacionista, en el cual las prácticas de control de erosión y conservación de laderas pasan a ser ejecutadas por los pobladores locales, organizados en Comités Conservacionistas y estimulados por un subsidio económico del Estado (Velázquez 2004). Estas prácticas mecánicas de control de erosión tuvieron seguramente un efecto positivo, frenando el proceso de degradación y evitando que continuara la formación de grandes cárcavas, fenómeno que en algunos sitios adquirió dimensiones inquietantes (Figura 1b). La forestación con especies exóticas en algunos casos permitió el establecimiento de manchones de bosques monoespecíficos, pero en otros casos su desarrollo fue muy incipiente, apareciendo actualmente como bosques enanos con árboles retorcidos y vegetación degradada en el sotobosque.

Para emprender proyectos de restauración que vayan más allá de las prácticas de control de la erosión, y permitan recuperar la funcionalidad de estas laderas en cuanto a sus servicios ecosistémicos y eventualmente restablecer la estructura y diversidad de la vegetación original, es necesario conocer la superficie total afectada, el tipo de degradación y los procesos históricos que la desencadenaron, para así poder categorizar el disturbio



Figura 1. Algunas imágenes del sistema triguero: A) ladera degradada con fuerte impronta de caminos de ganado y terrazas construidas por el proyecto de Subsidio Conservacionista; B) ladera fuertemente erosionada con presencia de grandes cárcavas; C) casas de tapia, eras circulares para la trilla y muros de piedra constituyen algunas huellas culturales de este sistema de producción y D) cosecha de trigo con hoz.

en términos de intensidad, magnitud, frecuencia y tipo. También es fundamental conocer los factores bióticos y abióticos que están limitando la regeneración espontánea de ecosistema, como base para seleccionar las prácticas de restauración apropiadas.

Muchas de las áreas degradadas por el sistema triguero parecen haber pasado un umbral de reversibilidad y por lo tanto, aunque cese el disturbio que generó su degradación, el ecosistema puede que no se recupere espontáneamente. En estas laderas pareciera que el sistema degradado se ha estabilizado y la sucesión está “detenida” o incluso es posible que el sistema continúe degradándose espontáneamente. En estos casos se requiere de acciones externas para que ocurra una recuperación. El objetivo fue escribir y poner en su contexto histórico y ecológico el problema de la degradación de las laderas en las zonas altas de los Andes venezolanos. Con este fin se utilizaron tres escalas de análisis, una regional en la que se describió el sistema triguero, sus áreas de influencia, las tecnologías utilizadas y los impactos generados. Luego, a una escala local se escogió como área de estudio el Valle Alto del río Chama, un centro triguero importante, donde se caracterizó el grado de degradación de las laderas, se intentó identificar los factores que limitan la regeneración y se evaluó el grado de reversibilidad del daño ecológico. Finalmente, a escala de parcela y utilizando un enfoque experimental, se evaluó la respuesta

de la vegetación frente a algunos tratamientos (fertilización, exclusión de pastoreo, arado, etc.).

Con los resultados obtenidos a escala local y de parcela se evaluaron las siguientes hipótesis sobre las posibles causas que estarían limitando la restauración del ecosistema páramo en las áreas degradadas por el sistema triguero:

Hipótesis 1: El pastoreo actual en las áreas degradadas constituye un disturbio que impide la restauración del ecosistema páramo.

Hipótesis 2: La distancia a las fuentes de propágulos (vegetación de páramo) limita la colonización de las áreas degradadas por las especies de páramo.

Hipótesis 3: La pérdida de la fertilidad del suelo por erosión y extracción de nutrientes impide el avance de la sucesión secundaria.

Hipótesis 4: La compactación del suelo limita el establecimiento y desarrollo de las especies cuyos propágulos logren llegar.

Finalmente, con base en los resultados obtenidos, se hacen recomendaciones de cómo orientar los posibles proyectos de restauración ecológica en estas zonas trigueras degradadas y las posibles prácticas a aplicar.

MATERIALES Y MÉTODOS

Escala regional

Se realizó una revisión de la literatura sobre el cultivo de trigo y su importancia en los Andes, desde el periodo de la colonia hasta nuestros días. El área abarcada incluyó los estados Mérida, Trujillo, Táchira y parte de Lara. Con base en la información disponible en la literatura, se elaboró un mapa de localidades trigueras con la finalidad de identificar las zonas que estuvieron potencialmente sujetas a los procesos de degradación acarreados por este sistema de producción.

Escala local

Para el análisis más detallado del impacto del sistema triguero y para la identificación de las causas de que la vegetación no se recupere espontáneamente, se escogió como área de estudio el Valle Alto del río Chama,

en el municipio Rangel del estado Mérida, cuyo centro administrativo es la ciudad de Mucuchíes, y que fue uno de los epicentros del sistema triguero, desde sus inicios en el siglo XVI hasta su finalización en el siglo XX (Miralles & Marín 1999). Dentro de esta área y únicamente por razones operativas, se trabajó por encima de los 2.800 m, en la zona correspondiente al ecosistema páramo, dejando fuera del análisis la parte más baja donde se encuentra la unidad de los bosques y arbustales siempre verde secos.

Se elaboró un mapa de las áreas trigueras abandonadas, las zonas bajo uso agrícola actual y aquellas con vegetación natural. Con este fin se utilizaron ortofotos creadas con el programa ILWIS a partir de fotografías aéreas del año 1989 (1:35.000) y de un modelo digital de terreno calculado a partir de las curvas de nivel digi-

talizadas cada 40 m, del mapa topográfico 1:100.000 de Cartografía Nacional. La georeferenciación se efectuó con un sistema de posicionamiento global (GPS), identificando en campo puntos fácilmente reconocibles en las fotos aéreas. En total se utilizaron unas 20 fotografías aéreas escaneadas del área de estudio. Las diferentes unidades a mapear fueron digitalizadas en pantalla, utilizando como fuente de información tanto las mismas fotografías aéreas como series de fotografías panorámicas del área de estudio, las cuales fueron tomadas durante el trabajo de campo y permitieron reconocer más fácilmente las unidades a mapear. La clasificación fue posteriormente chequeada en campo. También se realizaron entrevistas abiertas a pobladores de diferentes sectores dentro del área, principalmente a las personas mayores, para obtener información sobre el tiempo y causas de abandono de las áreas trigueras, y para confirmar que todas ellas fueron cultivadas con trigo en el pasado. Asimismo, se incluyó en el mapa los molinos de trigo identificados en la zona. Adicionalmente, se calculó un mapa de pendientes a partir del modelo digital de terreno y se obtuvo la precipitación a partir del mapa de isoyetas de Andressen & Ponte (1973).

Para evaluar el estado actual de las laderas degradadas y poner a prueba algunas de las hipótesis planteadas, se seleccionaron 92 puntos de muestreo utilizando el mapa, de tal forma que quedaran distribuidos en toda el área de estudio y que incluyeran áreas degradadas (65 puntos), áreas degradadas con signos de recuperación (11 puntos) y zonas de páramo no degradadas (16 puntos).

En cada uno de los 92 puntos de muestreo se colectó la siguiente información:

- Posición y altitud utilizando un GPS navegador.
- Estructura de la vegetación: se utilizó el método del punto intercepto (Greig-Smith 1983). Se colocaron dos transectas paralelas de 50 m de longitud, utilizando cuerdas de nylon separadas a una distancia de entre 5 a 10 m. Una varilla fue colocada verticalmente en intervalos de 1 m sobre cada transecta y se registraron cada 10 cm de altura las diferentes especies que la tocaban. La suma de toques por especie permitió calcular su biovolumen, que fue utilizado como medida de abundancia.
- Propiedades físico-químicas del suelo: Se colectó suelo entre 0 y 10 cm de profundidad en 10 puntos al azar ubicados entre las dos transectas paralelas utilizadas para muestrear la vegetación. El

suelo de los 10 puntos fue mezclado para preparar una única muestra compuesta por sitio, en la cual se determinaron: textura, pH, C y N totales, Ca, Mg, Na y K intercambiables y capacidad de intercambio catiónico (CIC). Complementariamente, se estimó la profundidad total del perfil del suelo, introduciendo un barreno en cada uno de los 10 puntos de muestreo.

- Pendiente: Se midió con un clinómetro entre las dos transectas.
- Intensidad actual de pastoreo: Se estimó contando el número de bostas de vaca y caballo en una franja de un metro a ambos lados de cada transecta, para un área total muestreada de 200 m² por censo.
- Intensidad pasada de pastoreo: se obtuvo por apreciación visual de la densidad de caminos de ganado en una escala semicuantitativa del 1 (ausencia) al 5 (alta densidad).
- Precipitación anual: Se obtuvo por interpolación del mapa de isoyetas utilizando el sistema de información geográfica Arcview 3.0.
- Distancia a fuentes de semillas: Se obtuvo a partir del mapa, midiendo la distancia a la zona más cercana con vegetación natural.

Una descripción e interpretación más detallada de los resultados de estos 92 censos puede encontrarse en Sarmiento *et al.* (en preparación).

Escala de parcela con un enfoque experimental

Se estableció un experimento en una ladera degradada en el Valle Alto del río Chama, situada a 3.450 m s.n.m, con 37° de pendiente. Se utilizó un diseño en bloques al azar, con seis tratamientos y tres réplicas por tratamiento. Los tratamientos fueron: 1) P: pastoreo, 2) E: exclusión de pastoreo, 3) E+F: exclusión de pastoreo y fertilización, 4) P+A: pastoreo y arado, 5) E+A: exclusión de pastoreo y arado y 6) E+A+F: exclusión de pastoreo con arado y fertilización. Estos tratamientos se implementaron para poner a prueba algunas de las hipótesis planteadas anteriormente. Por ejemplo, la exclusión de pastoreo permite evaluar la hipótesis de que este disturbio es el que limita la recuperación. La hipótesis de la pérdida de la fertilidad es analizada a través del tratamiento con fertilización. La compactación del suelo como posible causa de la no recuperación del ecosistema

páramo, es evaluada en los tratamientos arados, en los cuales se reduce la compactación del suelo y al mismo tiempo se “rejuvenece” la sucesión y se analizan las especies que recolonizan.

Los tratamientos se aplicaron en parcelas de 50 m². La exclusión de pastoreo se logró mediante la construcción de una cerca, dentro de la cual fueron instaladas todas las parcelas de los tratamientos sin pastoreo. El arado se realizó manualmente en la capa 0-15 cm, incorporando la vegetación al suelo e incorporando

también cáscara de arroz para mejorar la estructura del suelo. La fertilización consistió en aplicar NPK 16:16:16 en una dosis de 20 g·m⁻² cada tres meses. El experimento se inició en abril de 2004. La vegetación fue muestreada dos veces por año en cada una de las 18 parcelas, con el método del punto intercepto, utilizando 100 puntos por parcela. En este trabajo se analizan únicamente los datos del último muestreo, realizado en septiembre de 2007, después de 3,5 años de aplicación de los tratamientos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Escala regional

El ciclo triguero en los Andes de Venezuela

El trigo fue el primer cultivo introducido por los españoles en los Andes venezolanos, poco tiempo después de la conquista. Según Vivas (1992) pudo haber sido introducido en el año 1557, apenas 59 años después de que Colón tocara por primera vez tierra venezolana en su tercer viaje. El cultivo se expandió vertiginosamente y pronto comenzó a exportarse hacia Cartagena y las Antillas, existiendo evidencias de esta exportación en documentos que datan de fechas tan tempranas como 1579, poco tiempo después de fundada la Ciudad de Mérida, cuando se exportaron alrededor de 1.000 arrobas de harina de trigo (12 t) por el puerto de Gibraltar situado en el Lago de Maracaibo (Febres Cordero 1932). El temprano auge de este cultivo se explica por ser la base de la alimentación de los conquistadores, quienes encontraron que las tierras andinas frías y secas resultaban especialmente apropiadas para su cultivo, estableciendo convergencias ambientales con los ambientes trigueros de la meseta castellana y extremeña, a pesar de las obvias diferencias topográficas (Monasterio 1980a). El apogeo del ciclo triguero se produce en el siglo XVII, cuando constituyó la principal actividad económica de los estados andinos, pero ya para el siglo XVIII había pasado el auge de la exportación (Morales & Giacalone 1990). Sin embargo, según Vivas (1992), todo el siglo XIX fue de gran auge triguero en las tres entidades andinas, antes de iniciarse el ciclo cafetalero a finales del siglo XIX. A partir de entonces el cultivo de trigo en los Andes decae rápidamente al mismo tiempo que aumentan las importaciones de harina de las zonas templadas. Carnevali (1944) reporta que para 1835 se importaron alrededor

de 2.000 t de harina y 40 años después, en 1877, ya eran 10.000 t. Para finales del siglo XIX, el cultivo en los Andes pasa a niveles de subsistencia y consumo local (Morales & Giacalone 1990), persistiendo de forma cada vez más relictual hasta la primera mitad del siglo XX y sólo para el autoconsumo a muy pequeña escala hasta la actualidad (de Robert & Monasterio 1995). Esta decadencia tuvo varias causas entre las que se mencionan más frecuentemente: (a) la importación de harina de Estados Unidos, que hizo difícil la competitividad del cultivo con las tecnologías rudimentarias utilizadas en los Andes (Febres Cordero 1932); (b) el auge de otros cultivos como el café y el cacao que presentaban mayor rentabilidad; (c) la disminución de los rendimientos por la pérdida de la fertilidad de los suelos; y (d) la escasez de mano de obra por migración a las ciudades (Morales & Giacalone 1990; Consejo de Bienestar Rural 1953; de Robert & Monasterio 1995). En la **Figura 2** se ilustra la evolución del cultivo de trigo durante el siglo XX, utilizando infor-

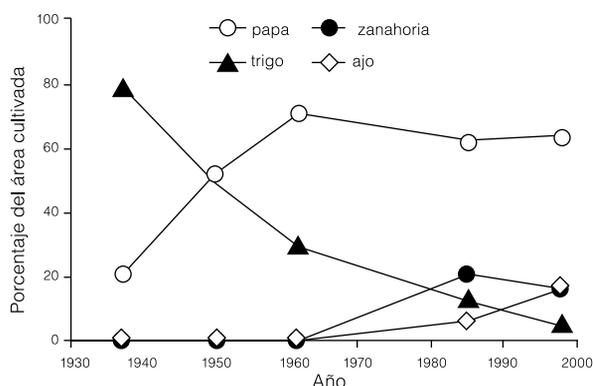


Figura 2. Porcentaje del área agrícola total cultivada con trigo, papa, zanahoria y ajo en el Valle Alto del río Chama entre 1937 y 1998. Fuente: MAC (1950; 1961; 1985; 1998) y Velázquez (2004).

mación de la zona de Mucuchíes. Se observa claramente el reemplazo del cultivo de trigo por el de papa desde el año 1937, cuando el trigo todavía representaba cerca del 80 % del área cultivada, hasta 1998 en que representó menos del 5 %. Este fenómeno ha sido descrito en detalle por Velázquez (2004). En las entrevistas que realizamos a personas mayores del municipio Rangel, las principales causas mencionadas de abandono del cultivo de trigo fueron: la implementación de prácticas conservacionistas como el terraceo y la forestación, el descenso de los rendimientos y pérdida de la rentabilidad, el uso de las parcelas como potreros, la introducción de los sistemas de riego que permitió cultivar otros rubros (“siembras modernas” como la papa blanca), la migración a las ciudades que trajo escasez de mano de obra y finalmente aducían que la “gente se puso floja”, afirmación que revela las condiciones durísimas de producción de este rubro con las tecnología en boga. Según varios autores, por ejemplo Carnevali (1944) y Castillo (1953), si el cultivo se mantuvo tanto tiempo fue por la situación de explotación a que eran sometidos los campesinos, con predominancia de la medianería bajo condiciones desventajosas en lo que el Consejo de Bienestar Rural (1953) califica como “agricultura de desesperación”.

El sistema triguero fue reemplazado en primera instancia por la ganadería extensiva de vacunos. Vila (1967) reporta que en los años 1950 hubo un auge de la ganadería en los Andes, la cual pastoreaba sobre todo en áreas de laderas y llegó a representar el 2,4 % y 3,2 % de la ganadería vacuna del país en los años 1950 y 1961 respectivamente, lo cual aunque parece poco hay que poner en el contexto de la poca vocación ganadera de estas zonas y la poca superficie que ocupan en comparación con las enormes extensiones de sabanas de las tierras llanas. Posteriormente, en muchas áreas trigueras se estableció una agricultura intensiva papera u hortícola, como en Mucuchíes, Bailadores y Timotes en lo que Velázquez (2004) describe como el proceso de modernización de la agricultura andina. Esta agricultura se instaló sobre áreas de menor pendiente, lo cual requirió en muchos casos de la utilización de prácticas de drenaje de humedales en los fértiles suelos de fondo de valle. También ocurrió un avance de la frontera agrícola hacia los páramos en busca de nuevas tierras aprovechables. Se produce así un proceso de abandono de muchas de las laderas que se utilizaban para el cultivo de trigo, las cuales pasan a ser utilizadas sólo para el pastoreo extensivo. Tulet (1979) describe el fenómeno como una inversión

del paisaje, ya que se pasa de cultivo en ladera y pastoreo en fondo de valle durante el sistema triguero, a cultivo en fondo de valle y pastoreo en las laderas en el sistema intensivo. Actualmente, el éxito del proceso de modernización e intensificación, producido con un alto grado de apoyo gubernamental, sobre todo para la construcción de los sistemas de riego por aspersión, está llevando a una recolonización progresiva por estos sistemas agrícolas intensivos de las laderas degradadas, que van quedando como la única área de expansión agrícola, fenómeno que se observa claramente en el Valle Alto del río Chama y que es mencionado también por Tulet (1986) para el páramo de Tuñame en Trujillo.

Áreas trigueras importantes

Según Cardozo (1965), las primeras siembras de trigo se inician en las cercanías de Trujillo, pasan a Timotes y llegan a Mérida, Bailadores y La Grita, hasta detenerse en el Cobre. En la **Figura 3** se muestran las localidades que según nuestras investigaciones fueron cultivadas con trigo, sin indicar que tan importantes fueron unas con respecto a las otras ni en que periodos históricos el cultivo tuvo su auge. Se observa que Mérida fue el principal estado triguero de los Andes, donde un mayor número de poblados se dedicaron en algún momento a la producción de este rubro, luego sigue Trujillo y finalmente Táchira y Lara. Datos de 1897 refuerzan esta apreciación, reportando 57 molinos para el estado Mérida, 38 para Trujillo y 25 para Táchira (Febres Cordero 1932; Cardozo 1965). En el mapa puede apreciarse la existencia de tres regiones trigueras principales en el estado Mérida. La primera se ubica en los Pueblos del Sur (Acequias, El Morro, Los Nevados, Pueblo Nuevo, etc.), donde muchos pueblos y aldeas fueron fundados y tuvieron su apogeo durante el ciclo triguero y se deprioritaron y aislaron posteriormente o incluso fueron abandonados (Morales & Giacalone 1990; de Robert 1993). La segunda zona triguera se ubicó en los valles altos de los ríos Chama y Motatán (Mucuchíes, Mucurubá, Chachopo, Timotes, etc.), constituyéndose en un área importante de producción durante todo el ciclo triguero. Se menciona que para las postrimerías de dicho ciclo, en 1950, todavía se cultivaban unas 4.000 ha en las cabeceras del Chama (Castillo 1953). Finalmente, la tercera región triguera tuvo su centro en Bailadores, en la cuenca del Mocotíes. Estas tres zonas trigueras tienen en común el ser valles interandinos, con precipitaciones

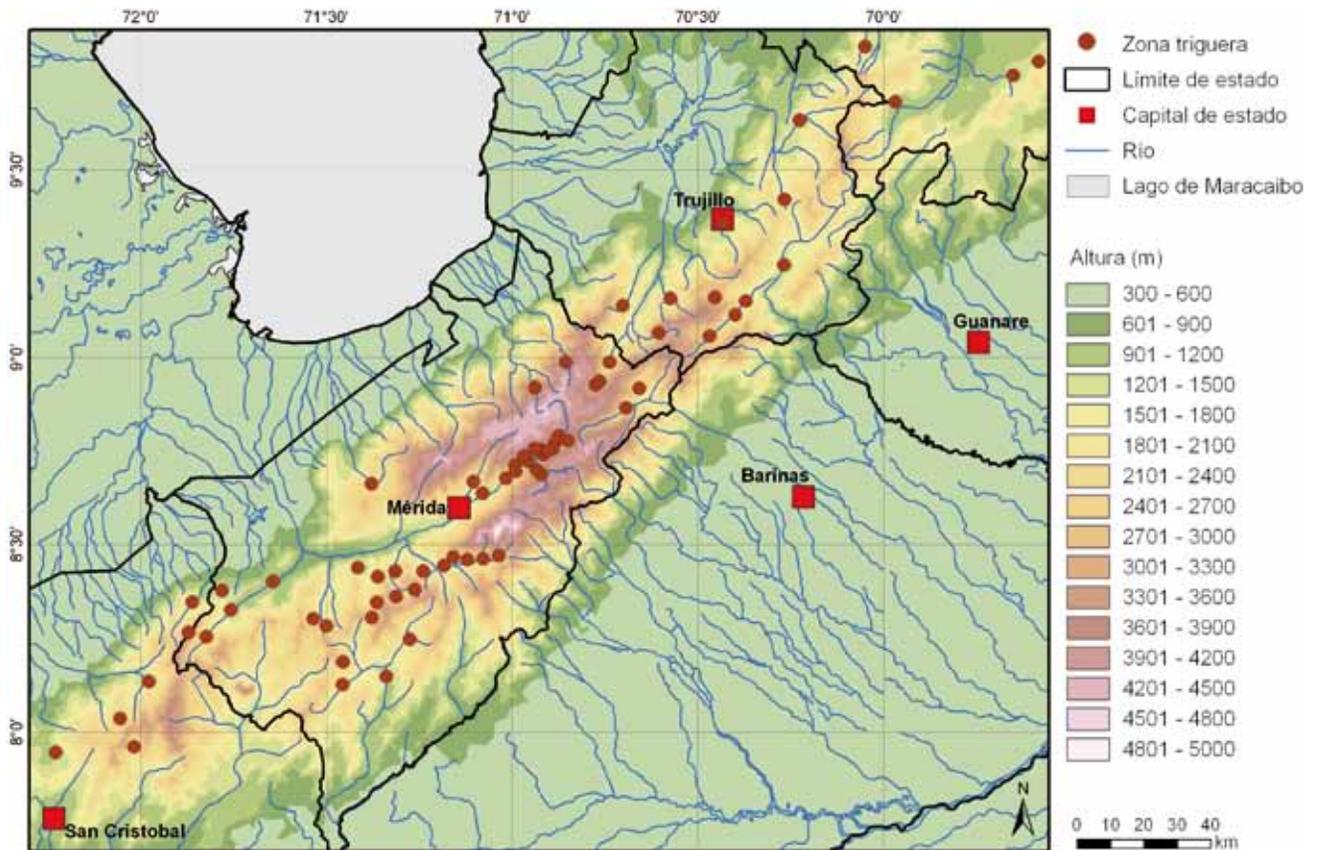


Figura 3. Mapa de las zonas trigueras en los Andes de Venezuela mencionadas en la literatura y según el conocimiento de las autoras. Los puntos no reflejan ni la importancia de cada sitio ni la época en que fueron cultivadas. Además de las referencias citadas en el texto se consultó a Vila (1950) y Ramírez Angulo (1970).

relativamente bajas (500-1.100 mm) y situadas, según el mapa de unidades ecológicas de Ataroff & Sarmiento (2003), mayormente en ambientes de bosque siempre verde secos montano bajo (1.600-2.000 m), bosque siempre verde montano alto (2.000-2.700 m) y páramo (2.700-3.600 m). En su límite inferior el trigo llegó a ocupar, aunque marginalmente, la parte alta de la selva semicaducifolia (<1.700 m). En los estados Táchira y Trujillo, el trigo se cultivó en ambientes similares a los de Mérida (bosques siempre verdes secos y páramo), siendo La Grita uno de los principales centros en Táchira, mientras que en Trujillo se puede mencionar a Tuñame y al valle alto del río Boconón.

Para tener una idea del área que llegó a estar cultivada con trigo en los Andes de Venezuela, tomemos las cifras de Vila (1970) y Febres Cordero (1932) quienes para finales del siglo XIX, cuando ya había pasado el máximo apogeo del cultivo, reportan una producción de 3.687 t en el Edo. Mérida, 484 t en Trujillo, 230 t en Táchira y 115 t en Lara. Esto representaría aproximadamente un área de unas 13.000 ha bajo cultivo, calculada considerando un sistema bianual (un año de cultivo

y uno de descanso) y un rendimiento promedio de 700 kg·ha⁻¹. Esta superficie está en el mismo orden que el área cultivada con papa en la actualidad (Romero 2005).

Técnicas de producción

La tecnología de producción fue traída de la agricultura cerealera de secano que se utilizaba en la España medieval. Se basó en la tracción animal con bueyes, el uso de arado de madera, la trilla con caballos en eras circulares de piedra y el uso de molinos hidráulicos (Febres Cordero 1932; Monasterio 1980a). Con esta tecnología no sólo se cultivaba trigo sino también cebada y avena. Los ciclos de cultivo más utilizados eran bianuales o trianuales, es decir un año de cultivo y uno o dos en barbecho, aunque algunos autores señalan descansos más largos. No se utilizaban abonos más que el estiércol proveniente de los animales que pastoreaban los rastros. El cultivo implicaba un primer arado de preparación o barbechado del terreno que usualmente era realizado entre agosto y octubre, posteriormente se realizaba un segundo arado para controlar las malezas (cruzada) y

finalmente, entre marzo y mayo se realizaba la siembra al voleo y se tapaban las semillas con el arado. Esto implica que al menos se realizaban tres arados por ciclo de cultivo. Cuando las plantas alcanzaban los 30 cm de altura, se realizaba un deshierbe manual llamado desnabe. Finalmente, la cosecha tenía lugar entre noviembre y enero, cegando con hoz y el trigo se amarraba y era transportado a la era para la trilla, la cual requería de ocho a diez caballos por parva. El sistema de cultivo resultaba bastante demandante de mano de obra y sobre todo requería de mucha fuerza de trabajo animal, la cual se utilizaba no sólo para el arado y la trilla sino también para el transporte de la harina para su comercialización, que se realizaba en recuas de mulas y caballos. Esto implica que una fuerte carga animal pastoreó los rastrojos y las parcelas en descanso, constituyéndose en uno de los factores a considerar al evaluar el impacto ambiental del sistema triguero.

Los rendimientos, expresados como cantidad cosechada por cantidad sembrada, reportados en las encuestas realizadas en este trabajo, basándose en la memoria de los pobladores mayores, van de 1:6 (malo), 1:16 (bueno) hasta 1:30 (muy bueno), con un promedio que debía rondar el 1:10, equivalente a 750 kg·ha⁻¹. Codazzi (1841) reporta rendimientos de 1:37 para 1832, Febres Cordero (1932) un máximo de 1:40 para 1892 y para 1942 el MAC reporta rendimientos medios de 1:8 o 1:12 (Carnevali 1944). Esto equivale aproximadamente a una variación entre 450 y 3.000 kg·ha⁻¹. Los datos disponibles son muy escasos como para indagar si se produjo un descenso sistemático de los rendimientos con el tiempo.

Los paisajes trigueros, evidencias de degradación y efectos ambientales

El sistema triguero dejó una fuerte impronta en los paisajes andinos, no sólo por la presencia de numerosas huellas culturales (eras, molinos, casas y poblados trigueros) sino también por la fuerte degradación ambiental que implicó el monocultivo de este rubro durante tantos años (Figura 1). Para entender esta degradación hay que considerar que el cultivo se realizó principalmente en laderas con altas pendientes. En ese sentido, resulta muy ilustrativo el comentario de Fray Pedro Simón (citado por Vila 1967) refiriéndose a su paso por el Valle del Chama en 1625 “...yo vi cuando pasé por estas tierras... al ver que con ser tierras dobladas todas y de que estando tan encrespadas e inaccesibles que parece

ser imposible poder subir por ellas hombres aun gateando, están todas labradas... de trigo que se da mucho y muy bueno en las tierras templadas...”.

La degradación producida por el sistema triguero es mencionada por varios autores. Bastante temprano, Carnevali (1944) indica que la mayor parte de la tierra ha sufrido considerablemente por efectos de la erosión y parte ha sido completamente destruida para el cultivo y ha quedado abandonada. Morales & Giacalone (1990) señalan que ya en el siglo XVIII había algunos centros trigueros que habían entrado en decadencia, lo que evidencia que este sistema de cultivo empezó desde muy pronto a causar problemas de degradación. Molano (1990), para una zona triguera en Colombia (Villa de Leiva) califica la degradación del paisaje como una “catástrofe ambiental”. Porrman-Moreno (1992) analiza los procesos erosivos en Los Nevados (Edo. Mérida) y encuentra que una proporción importante de la tierra presentaba signos evidentes de erosión.

El desencadenamiento de fuertes procesos erosivos, algunas de cuyas huellas más conspicuas son las numerosas cárcavas que como cicatrices del sistema triguero pueden encontrarse en los paisajes (Figura 1b), está asociado, aparte de las fuertes pendientes, al arado muy frecuente, al monocultivo con periodos de descanso muy cortos, a la falta de reposición de los nutrientes extraídos y a la poca incorporación de materia orgánica a los suelos. Pero no hay que olvidar en la ecuación el efecto del pastoreo y pisoteo por el ganado asociado al cultivo de trigo. En este sentido, datos obtenidos de Vila (1970) indican que en 1813, en pleno auge del sistema triguero, existían en el distrito Rangel (área de Mucuchíes) 13.350 equinos (incluyendo caballos, mulas y asnos), 2.500 vacas y teneros y 800 bueyes. Esto representa una carga animal enorme que sin duda tuvo un apreciable efecto ambiental tanto en las laderas cultivadas como en las zonas de páramo, cuya vegetación tiene una muy baja capacidad de carga (Molinillo & Monasterio 1997). Si se comparan estas cifras con los datos de 1985 para el municipio Rangel, obtenidos del Censo Agrícola, que reporta 498 equinos y 3.281 bovinos, puede observarse que, si bien el área del distrito Rangel era algo más grande que la del actual municipio Rangel, ocurrió un descenso notable de los equinos y un mantenimiento o aumento de los bovinos, los cuales aun hoy día son la principal fuerza de tracción en la agricultura de los valles altos.

En conclusión, el acentuado proceso de degradación pudiera atribuirse a tres causas principales ligadas

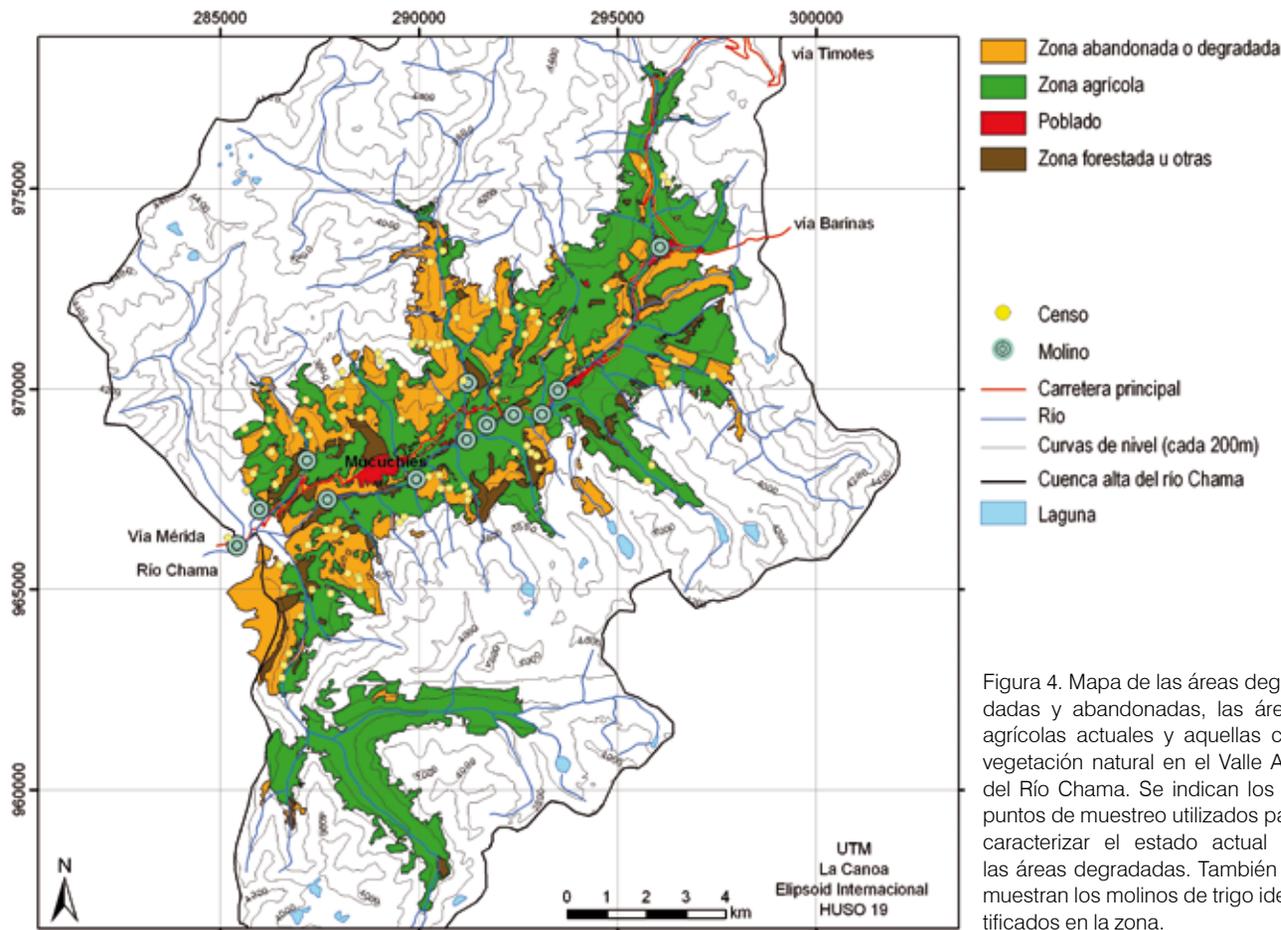


Figura 4. Mapa de las áreas degradadas y abandonadas, las áreas agrícolas actuales y aquellas con vegetación natural en el Valle Alto del Río Chama. Se indican los 92 puntos de muestreo utilizados para caracterizar el estado actual de las áreas degradadas. También se muestran los molinos de trigo identificados en la zona.

al cultivo de trigo: la erosión producida por el arado reiterado y cultivo en zonas de altas pendientes, la extracción y falta de reposición de nutrientes durante varios siglos y el sobrepastoreo por equinos y bovinos. A pesar del abandono, en una proporción importante de las áreas previamente cultivadas, la vegetación natural no se ha recuperado y el paisaje aparece altamente degradado y erosionado, con una baja cobertura vegetal, indicando la poca reversibilidad del daño ambiental a corto o mediano plazo.

Escala local

Estado actual de las laderas degradadas en el Valle Alto del río Chama

En el mapa de zonas trigueras abandonadas, bajo uso agrícola actual y con vegetación natural para el Valle Alto del río Chama (Figura 4) se observa la presencia de zonas abandonadas a lo largo de todo el valle, principalmente en los alrededores de Mucuchíes. En la parte más alta de la cuenca, se presenta una menor proporción

de estas áreas en comparación con las que están bajo uso agrícola. Esto puede deberse a la existencia en esta zona de relieves más planos (Mesa Julián, Mesa Caballo, Llano del Hato), en donde o bien no se cultivó trigo o bien se degradaron menos y permanecieron en uso una vez finalizado el ciclo triguero. Se observa también en el mapa la presencia de 12 molinos, con edificaciones aún en pie, aunque sólo uno continúa funcionando comercialmente. La mayor parte de estos molinos están ubicados siguiendo el curso del río Chama, que proveía la energía hidráulica para su funcionamiento. Llama la atención que hay un sólo molino en la parte más alta de la cuenca, lo que sugeriría que esta zona, que está menos degradada en la actualidad, no fue tan cultivada bajo el sistema triguero.

A partir del mapa puede calcularse la superficie correspondiente a cada tipo de uso. El área total bajo la cota de 3.800 m, que es aproximadamente la actual frontera agrícola por bajas temperaturas es de 14.455 ha, de las cuales 6.077 ha se encuentran bajo vegetación natural, 5.189 ha bajo uso agrícola, 2.482 ha están abandonadas y 707 ha bajo otros usos (urbanismo, forestación, etc.).

Es decir que aproximadamente 20% del área total está abandonada o 32% si el cálculo se realiza excluyendo la vegetación natural.

Más del 70% del área abandonada se sitúa entre los 3.100 y 3.600 m de altura (Figura 5a), aunque existen zonas abandonadas en todo el intervalo de alturas, hasta los 3.800 m. En comparación, el área bajo agricultura actual se encuentra algo desplazada hacia las zonas más altas, lo que pareciera indicar un avance de la frontera agrícola durante la etapa de intensificación y “modernización” de la agricultura. Por otra parte, más del 50 % de las zonas abandonadas se encuentran en pendientes entre 20° y 35°, y algunas llegan a tener pendientes entre 40° y 50° (Figura 5b). Comparativamente, las zonas bajo uso actual tienen pendientes menores, con 60 % del área cultivada en pendientes inferiores de 25°. La menor pendiente de las áreas bajo uso actual refleja el proceso de abandono de las laderas más empinadas y la colonización de los fondos de valle a través de la realización de prácticas de drenaje, las cuales estuvieron incluidas dentro del Subsidio Conservacionista implementado en los años 50 (Aguilar 1978). Es de hacer notar que, según la FAO (1993), pendientes superiores a 20° pueden considerarse como muy fuertes para la agricultura, al menos que se utilicen prácticas eficientes de control de la erosión.

Por otra parte, la mayoría de las áreas, tanto abandonadas como en uso agrícola, se encuentran en zonas con precipitaciones bastante bajas (Figura 5c). La ciudad de Mucuchíes, que fue el centro de esta zona triguera, está situada en la zona con menores precipitaciones (600 mm). Esto ilustra como el sistema triguero se estableció en los bolsones áridos de los Andes, lo cual se debe al alto requerimiento de radiación del cultivo.

Finalmente, a partir del mapa de áreas abandonadas y bajo uso agrícola (Figura 4), puede calcularse la distancia de estas áreas a la carretera principal. Se observa que las zonas abandonadas no

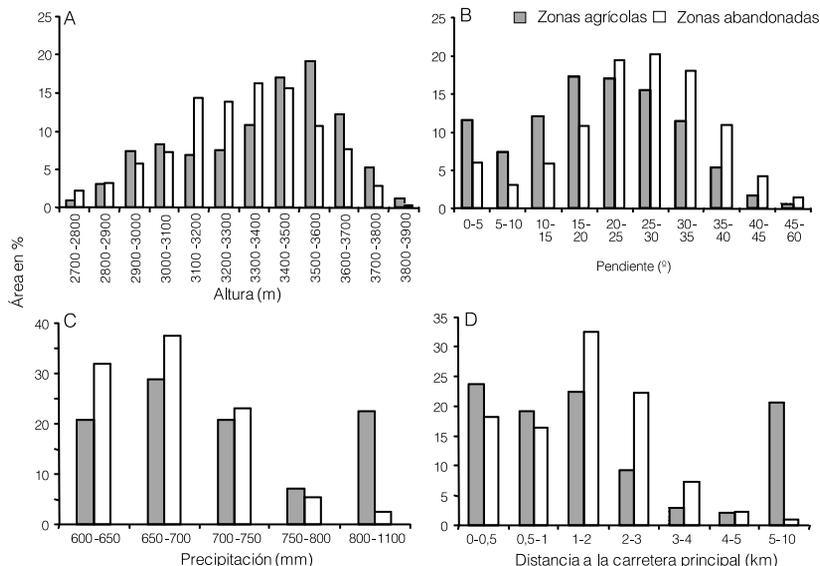


Figura 5. Algunas características de las laderas degradadas: A) altura; B) pendiente; C) precipitación y D) distancia a la carretera principal.

necesariamente están más aisladas que aquellas bajo uso agrícola (Figura 5d), lo que indicaría que el aislamiento geográfico no fue la causa del abandono de estas áreas.

Los censos de vegetación permitieron la identificación de cuatro tipos de vegetación en el área (Figura 6; Tabla 1). El primer tipo que denominamos pajonal degradado, se encuentra fuertemente dominado por la gramínea *Jarava ichu*. El segundo tipo, que llamamos arbustal degradado, es el más común en el área y está dominado por el arbusto *Stevia lucida* y la gramínea

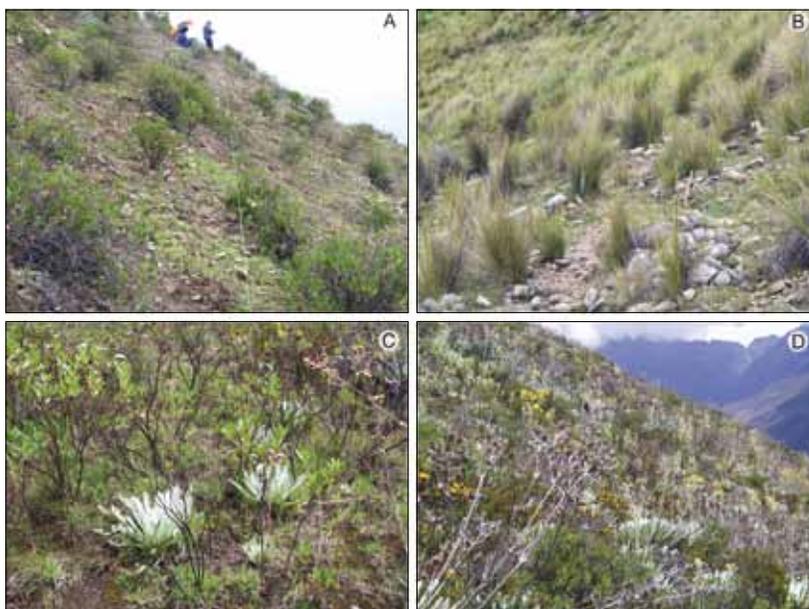


Figura 6. Unidades de vegetación identificadas en el Valle Alto del Río Chama: A) arbustales degradados dominados por *Stevia lucida*; B) pajonales degradados de *Jarava ichu* C) vegetación transicional y D) páramo natural dominado por *Espeletia schultzii* e *Hypericum laricifolium*.

Aegopogon cenchroides. El tercer tipo, de características transicionales, continua dominado por *Stevia lucida* pero tiene presencia relativamente importante de algunas especies características del páramo, como el arbusto *Hypericum laricifolium* y la roseta gigante *Espeletia schultzii*. Finalmente, el cuarto tipo está constituido por rosetales-arbustales de *Espeletia schultzii* e *Hypericum laricifolium*, formación vegetal de páramo descrita por Monasterio (1980b). A esta última vegetación la calificamos como páramo no degradado ya que no hay indicios de que se hayan cultivado con trigo, pero sin duda tienen degradación por pastoreo y probablemente por extracción de leña, debido a su cercanía a las zonas pobladas.

El número promedio de especies registradas resultó significativamente menor en el pajonal y arbustal degradados en comparación con la vegetación transicional y el páramo no degradado (Tabla 1). En cuanto a la diversidad, calculada por el índice de Shannon, el cual considera la equitabilidad en la distribución de las abundancias entre las especies, los pajonales presentaron el valor más bajo, la vegetación transicional el más alto y el páramo y los arbustales degradados valores intermedios. Es notable el número de especies que logran colonizar estos ambientes degradados: en los 65 censos realizados en las zonas degradadas se contabilizaron 113 especies y en los 27 censos realizados en zonas transicionales y páramo se contabilizaron 115 especies.

A nivel de las características ambientales asociadas a cada uno de estos tipos de vegetación (Tabla 2), puede observarse una diferencia significativa en la textura del suelo, más arcillosa en los páramos y en la vegetación transicional y más arenosa en los pajonales y arbustales degradados. Esta diferenciación textural puede ser interpretada como una consecuencia de mayores procesos erosivos en las zonas más degradadas, que favorecerían la pérdida de las fracciones más finas. Según esta interpretación, las zonas transicionales serían áreas que se erosionaron menos y por eso la

Tabla 1

Porcentaje de la abundancia total de las principales especies del pajonal degradado, el arbustal degradado, la vegetación transicional y el páramo sin degradar en el Valle Alto del río Chama.

Especie	Pajonal degradado n=9	Arbustal degradado n=56	Vegetación transicional N=11	Páramo sin degradar n=16
<i>Jarava ichu</i>	46,1	4,3	0,0	0,4
<i>Rumex acetosella</i>	6,8	2,8	2,7	2,8
<i>Gaylussacia buxifolia</i>	4,8	0,0	1,1	0,0
<i>Vulpia myuros</i>	3,0	2,4	0,9	0,8
<i>Aegopogon cenchroides</i>	4,0	13,2	4,3	2,3
<i>Stevia lucida</i>	6,4	15,0	15,4	5,3
<i>Phyllanthus salviaefolius</i>	2,0	1,6	2,1	0,3
<i>Oenothera epilobifolia</i>	2,1	1,7	1,3	1,0
<i>Nassella mucronata</i>	3,2	4,9	2,4	1,5
<i>Nassella linearifolia</i>	3,5	1,5	4,2	3,7
<i>Agrostis toluensis</i>	0,6	8,2	0,0	0,1
<i>Aristida recurvada</i>	0,1	2,9	0,0	0,0
<i>Verbesina simulans</i>	0,0	2,4	0,0	0,0
<i>Acaena elongata</i>	0,2	3,9	9,3	1,4
<i>Hypericum laricifolium</i>	0,0	2,5	9,7	15,0
<i>Hesperomeles obtusifolia</i>	0,1	1,6	2,8	0,8
<i>Paspalum lineispatha</i>	0,0	1,6	2,8	1,2
<i>Espeletia schultzii</i>	0,0	0,7	8,8	26,1
<i>Gaultheria myrsinoides</i>	0,5	1,5	4,9	3,4
<i>Chaetolepis lindneriana</i>	0,0	0,0	0,9	5,3
<i>Nassella mexicana</i>	0,0	0,3	0,2	2,4
<i>Brachypodium mexicanum</i>	0,0	0,2	1,8	1,8
% total de la abundancia	83,4	73,2	75,5	75,5
Biovolumen total	230 a	172 b	252 a	230 a
Número de especies	25,2 b	27,6 b	39,0 a	33,3 a
Diversidad (Shannon)	1,73 c	2,11 b	2,54 a	2,20 b

En negrita las diez especies más abundantes en cada unidad. Las abundancias relativas fueron calculadas en base al biovolumen de cada especie. En la parte inferior de la tabla se presentan los datos de biovolumen total, riqueza (número total de especies) y diversidad (índice de Shannon). Letras distintas indican diferencias significativas entre unidades para estas últimas variables evaluadas utilizando un ANOVA y a posteriori un test LSD.

vegetación ha podido recuperarse en mayor medida. Otras diferencias significativas a nivel del suelo son: un menor pH, mayor contenido de C y N totales y mayor CIC en las zonas de páramo y transicionales, mientras que no se observaron diferencias significativas en las bases cambiables, por lo que la saturación de bases resultó mayor en las zonas degradadas (Tabla 2). Pérdidas de materia orgánica de más del 60 % en las áreas degradadas pueden estar relacionadas con los procesos erosivos pero también con la estimulación de la descomposición por efecto del arado o con una menor incorporación de necromasa al suelo durante el cultivo de trigo debida a la exportación por cosecha y consumo animal del rastrojo. Asimismo, la menor CIC

Tabla 2

Propiedades del suelo y otras características ambientales del pajonal degradado, el arbustal degradado, la vegetación transicional y el páramo sin degradar en el Valle Alto del río Chama.

	Pajonal degradado N=9	Arbustal degradado n=56	Vegetación transicional n=11	Páramo sin degradar n=16
Arena (%)	53 ± 7 ab	55 ± 7 a	50 ± 7 ab	49 ± 7 b
Arcilla (%)	21 ± 5 b	18 ± 6 b	28 ± 7 a	31 ± 6 a
Limo (%)	26 ± 2 bc	27 ± 4 b	22 ± 8 ac	20 ± 7 a
pH	6,15 ± 0,4 a	6,17 ± 0,4 a	5,64 ± 0,2 b	5,61 ± 0,3 b
N (%)	0,11 ± 0,03 b	0,13 ± 0,06 b	0,25 ± 0,1 a	0,27 ± 0,1 a
C (%)	1,85 ± 0,6 b	2,15 ± 1,0 b	4,16 ± 1,2 a	4,99 ± 1,8 a
C/N	16 ± 3 a	17 ± 5 a	17 ± 3 a	19 ± 4 a
Ca (meq/100 g)	5,30 ± 2,9 a	5,31 ± 3,1 a	3,52 ± 2,0 a	3,52 ± 2,5 a
Mg (meq/100 g)	1,44 ± 0,6 a	1,24 ± 0,6 a	0,98 ± 0,6 a	1,35 ± 2,0 a
Na (meq/100 g)	0,05 ± 0,01 a	0,061 ± 0,02 a	0,04 ± 0,03 a	0,06 ± 0,1 a
K (meq/100 g)	0,16 ± 0,1 a	0,25 ± 0,2 a	0,23 ± 0,1 a	0,47 ± 0,8 a
Suma de Bases (meq/100 g)	6,96 ± 3,3 a	6,86 ± 3,6 a	4,78 ± 2,5 a	5,41 ± 3,8 a
CIC (meq/100 g)	9,53 ± 2,0 b	10,16 ± 3,2 b	15,19 ± 5,7 a	14,68 ± 3,7 a
Saturación de bases (%)	76 ± 37 a	74 ± 53 a	35 ± 20 b	38 ± 27 b
Distancia páramo (m)	702 ± 472 a	449 ± 365 c	231 ± 189 bc	168 ± 297 b
Precipitación (mm)	675 ± 12 a	666 ± 58 a	695 ± 43 a	690 ± 36 a
Altura (m)	3450 ± 102 b	3282 ± 237 c	3478 ± 151 b	3654 ± 141 a
Pendiente (°)	34 ± 4 a	34 ± 5 a	30 ± 5 a	31 ± 9 a
Bostas en 200 m ²	9 ± 6 ab	15 ± 12 a	10 ± 8 ab	6 ± 6 b
Caminos de ganado	3,7 ± 0,9 a	3,6 ± 1,0 a	1,9 ± 0,7 b	1,7 ± 0,8 b
Profundidad del suelo (cm)	49 ± 8 a	49 ± 10 a	51 ± 10 a	55 ± 9 a

Letras diferentes indican diferencias significativas ($p < 0,05$) entre unidades evaluadas utilizando un ANOVA y a posteriori un test LSD. Media ± desviación estándar.

en las zonas degradadas se puede asociar con la menor cantidad de arcillas y de materia orgánica del suelo. La reducción de la cantidad de nitrógeno del suelo, entre un 50 % y 60 %, significa un descenso importante de la fertilidad, siendo éste uno de los principales nutrientes para las plantas.

Otras variables ambientales presentadas en la **Tabla 2** también muestran diferencias significativas entre los tipos de vegetación descritos. Por ejemplo, la distancia al páramo más cercano (fuente de propágulos), es máxima en el pajonal (702 m), intermedia en los arbustales (449 m) y baja tanto en la vegetación transicional (231 m) como en el páramo (168 m). Esta última distancia debería ser nula, sin embargo no lo es debido a que se muestrearon algunas pequeñas “islas” de páramo en una matriz de vegetación degradada y en ese caso se calculó la distancia al páramo continuo más cercano.

La precipitación, la pendiente y la profundidad del suelo no presentaron diferencias significativas entre las unidades. Esto nos indica que la vegetación de páramo no se encuentra en ambientes más húmedos o más planos sino que realmente hay un problema de de-

gradación sobre ambientes equivalentes. Sin embargo, si se observó una pequeña diferencia en la altura promedio, la cual fue significativamente superior en los páramos (3.654 m) que en las otras unidades (3.366 m), si bien se muestrearon páramos entre los 3.384 m y los 3.834 m, lo que indica que esta era la vegetación natural en toda la zona de estudio.

Finalmente, la carga actual de pastoreo, evaluada a través del conteo de bosta, fue mayor en los pajonales y arbustales degradados y en

la vegetación transicional que en el páramo. La misma tendencia se evidencia para la carga de pastoreo pasada, extraída de la densidad de los caminos de ganado. La mayor carga pasada en los ambientes más degradados nos estaría indicando que el pastoreo pudo haber contribuido a la degradación de las laderas trigueras (compactación del suelo, erosión, menor producción primaria e incorporación de necromasa al suelo). Por otra parte, la menor carga actual sobre el páramo puede ser una consecuencia de que su vegetación está dominada por especies rechazadas por el ganado como *Hypericum laricifolium*, *Espeletia schultzii*, *Chaetolepis lindeniana* y *Stevia lucida* (**Tabla 1**), mientras que en las laderas degradadas hay mayor abundancia de gramináceas y hierbas que según Molinillo & Monasterio (1997) y Sarmiento (2006) tienen grados medios o altos de palatabilidad como *Vulpia myuros*, *Aegopogon cenchroides*, *Rumex acetosella*, *Nassella mucronata* y *Nassella linearifolia*, mientras que *Jarava ichu* tiene un grado de preferencia más bien bajo.

A nivel del suelo no hubo ninguna diferencia significativa entre el pajonal y el arbustal degradado (**Tabla 2**). Las únicas diferencias entre estas unidades

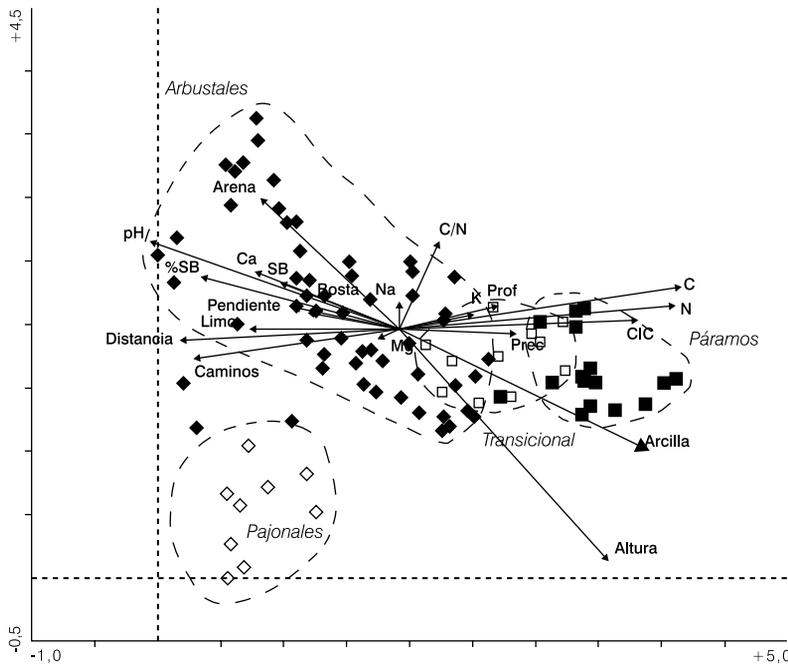


Figura 7. Análisis de correspondencia linealizado de los 92 censos realizados en el Valle Alto del Río Chama, mostrando el ordenamiento de los censos y las variables ambientales en los primeros dos ejes.

Se indican los censos correspondientes a pajonales y arbustales degradados, vegetación transicional y páramo natural. Las abreviaciones utilizadas son: Caminos: densidad de caminos de ganado, Distancia: distancia al páramo natural, SB: suma de bases, %SB: porcentaje de saturación de bases, Prof: profundidad del suelo, Prec: precipitación, CIC: capacidad de intercambio catiónico.

estuvieron en la distancia a las zonas de páramo y en la altitud, ambas mayores en los pajonales (Tabla 2). En este sentido, resulta interesante que la especie dominante en estos pajonales, *Jarana ichu*, se caracteriza por su anemocoría avanzada, siendo una especie vernácula de la puna y adaptada a condiciones de sequía, suelos poco ácidos y con bajo contenido de materia orgánica, lo que explicaría su abundancia en estas zonas más altas y alejadas del páramo.

Por otra parte, la única diferencia en las variables ambientales entre el páramo y la vegetación transicional fue la intensidad de pastoreo, lo que nos hace pensar que esta última va a continuar recuperándose espontáneamente ya que la degradación no llegó a alterar apreciablemente las características del suelo.

Una variable que no fue incluida en el análisis debido a que no se disponía de información para todos los censos fue el tiempo de abandono. Sin embargo, utilizando un subconjunto de censos, Sarmiento *et al.* (datos no publicados) llegan a la conclusión de que el grado de recuperación no está relacionado con el tiempo de sucesión, confirmando así la presencia de sucesiones “detenidas”.

Para identificar y aislar más fácilmente los factores que limitan la recuperación de las laderas degradadas se realizó un análisis de correspondencia linealizado (ACL), en el cual la matriz de vegetación se utiliza en el ordenamiento de los censos y la matriz ambiental para la interpretación de dicho ordenamiento (Jongman *et al.* 1995). Los resultados (Figura 7) muestran que el eje principal de ordenamiento está claramente asociado con el grado de degradación, ubicándose las parcelas degradadas en la parte izquierda del mismo y el páramo no degradado en la parte derecha, mientras que los sitios correspondientes a la vegetación transicional se encuentran en una zona intermedia pero bastante cerca de los de páramo.

Por otra parte, se observa que los censos de las zonas degradadas están bastantes dispersos en el plano de los dos primeros ejes, mientras que los de páramo y vegetación transicional tienden a dispersarse menos, indicando menor variabilidad en la

composición y estructura de la vegetación de estos últimos. También se observa que los pajonales de *Jarana ichu* se agrupan en la parte inferior del segundo eje, diferenciándose claramente del resto de la vegetación degradada. Al analizar las variables ambientales se confirma lo observado en la Tabla 2, con el grado de degradación fuertemente asociado a niveles bajos de C, N y CIC (variables altamente asociadas entre sí), valores altos de arena o bajos de arcilla, grandes distancias a las zonas de páramo y pH más altos. El pastoreo actual, evidenciado por los conteos de bosta, es una variable de poco valor explicativo, a diferencia del pastoreo pasado, visualizado por los caminos de ganado, que se correlaciona negativamente con el primer eje, mostrando cierta influencia en el nivel de degradación.

En base al ordenamiento, podemos evaluar las hipótesis planteadas sobre los factores que impiden la regeneración del ecosistema páramo en estas laderas trigueiras abandonadas. La primera hipótesis planteaba que la persistencia de un disturbio como el pastoreo impedía la regeneración. Este trabajo no apoya esta hipótesis ya que el pastoreo actual se asocia muy débilmente con el primer eje, por lo que no pareciera ser el factor principal que está

frenando la restauración de la vegetación. En relación a la segunda hipótesis se observa que las zonas más degradadas son las que están más lejos del páramo, por lo que se podría interpretar que la distancia a las fuentes de semilla si puede estar jugando algún rol en la llegada y establecimiento de las especies de páramo. Aunque nuestros resultados parecieran apoyar esta hipótesis, pensamos que los mismos también pueden ser interpretados de otra manera ya que la distancia al páramo natural puede también estar relacionada con cuanto tiempo duró y cuál fue la intensidad del cultivo de trigo. Este argumento se basa en que es de esperar que el sistema triguero haya avanzado desde los poblados y aldeas hacia las zonas más altas, siendo las zonas más cercanas a los pueblos y por lo tanto más lejanas a los páramos incorporadas antes al ciclo triguero. Comprobar la hipótesis de la influencia de la distancia sobre la colonización por las especies de páramo de manera más directa implicaría la evaluación de los bancos y lluvias de semillas. Finalmente, la tercera hipótesis, que plantea que la pérdida de fertilidad por erosión y extracción de nutrientes es la causa de la degradación, es la que cobra mayor peso con los datos de este trabajo. La erosión se evidencia en los cambios texturales, mientras que la pérdida de la fertilidad se aprecia en la disminución drástica de la materia orgánica, la cual es fundamental como fuente de nitrógeno y en la retención de agua y nutrientes. También se observa, pero con mucho menor peso, una disminución en el K^+ intercambiable que pudo incidir negativamente sobre la fertilidad.

Escala de parcela con un enfoque experimental

El tratamiento que produjo un mayor efecto sobre el biovolumen de la vegetación degradada, después de 3,5 años de iniciar su aplicación, fue el de fertilización, que causó un aumento en más del 150 % (Tabla 3). Por otro lado, la exclusión de pastoreo produjo el menor efecto en comparación con el control pastoreado,

mientras que el arado disminuyó considerablemente el biovolumen en las parcelas pastoreadas y lo mantuvo en las excluidas. A nivel de la abundancia de las especies, hubo cambios importantes entre los tratamientos. La fertilización en condiciones de exclusión favoreció enormemente a la gramínea altamente palatable *Nassella mucronata* y en menor medida al arbusto *Stevia lucida*, a las hierbas *Rumex acetosella* y *Oenothera epilobifolia* y a otras gramíneas como *Jarava ichu* y *Vulpia myurus*. El arado por su parte redujo la abundancia de las gramíneas *Aegopogon cenchroides* y *Jarava ichu*, mientras que favoreció a *Rumex acetosella* y *Bromus carinatus*, en tanto que la exclusión de pastoreo tuvo menos efecto, manteniéndose la abundancia y dominancia de *Aegopogon cenchroides* pero aumentando le-

Tabla 3

Biovolumen por especie en el experimento realizado en La Angostura (Valle Alto del río Chama) después de tres años y medio de aplicación de los tratamientos.

Especie	P	E	E+F	P+A	E+A	E+A+F
<i>Aegopogon cenchroides</i>	110 (58)	111 (59)	104 (21)	16 (24)	26 (15)	59 (12)
<i>Stevia lucida</i>	26 (13)	26 (14)	62 (12)	7 (11)	3 (2)	22 (4)
<i>Nassella mucronata</i>	10 (5)	24 (13)	221 (44)	7 (10)	105 (60)	241 (49)
<i>Jarava ichu</i>	34 (18)	15 (8)	34 (7)	1 (2)	3 (2)	31 (6)
<i>Oenothera epilobifolia</i>	2 (1)	3 (2)	13 (3)	2 (3)	10 (6)	18 (4)
<i>Vulpia myuros</i>	2 (1)	2 (1)	19 (4)	1 (1)	14 (8)	9 (2)
<i>Rumex acetosella</i> L.	3 (2)	1 (0)	17 (3)	13 (20)	10 (6)	57 (12)
<i>Bromus carinatus</i>	0 (0)	0 (0)	0 (0)	13 (20)	0 (0)	15 (3)
<i>Verbena litoralis</i>	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (2)	0 (0)	21 (4)
<i>Alonsoa meridionalis</i>	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	9 (2)
Biovolumen total	192 (100)	188 (100)	498 (100)	65 (100)	174 (100)	497 (100)

Entre paréntesis se indican el porcentaje del biovolumen total de cada especie. P=pastoreo E=exclusión de pastoreo E+F=exclusión de pastoreo y fertilización P+A=pastoreo y arado E+A=exclusión y arado E+A+F=exclusión arado y fertilización.

vemente la de *Nassella mucronata* y disminuyendo la de *Jarava ichu*. El tratamiento combinado de exclusión de pastoreo, arado y fertilización favoreció fuertemente a *Nassella mucronata*, pero también a un grupo grande de especies entre las que están *Rumex acetosella*, *Bromus carinatus*, *Verbena litorales* y *Alonsoa meridionalis*. Por otro lado, el arbusto *Stevia lucida*, una de las especies dominantes en estas laderas degradadas, se vio negativamente afectado por el arado, aunque rápidamente, después de tan solo 3,5 años, comienza a restablecerse, lo que muestra su gran capacidad colonizadora.

Si bien los tratamientos aplicados tuvieron efectos significativos sobre el biovolumen y la estructura de la comunidad vegetal, no es fácil extraer conclusiones sobre los factores que limitan la restauración del ecosiste-

ma páramo en las laderas degradadas ya que ninguna de las especies características del páramo se ha establecido en el tiempo transcurrido. Lo que si se refuerza es que la fertilidad es el factor que más limita la recolonización de la vegetación, en concordancia con lo obtenido en el análisis a escala local. Por otro lado, se ve que al refrescar la sucesión con el arado y fertilizar, se está promoviendo otra ruta sucesional, con mayor diversidad y predominio de algunas especies, como *Rumex acetosella*, que también participan en la sucesión secundaria en zonas de páramo no tan degradadas (Sarmiento *et al.* 2003; Sarmiento & Llambí 2008). Finalmente, se confirma también el resultado de que el pastoreo actual no es el factor determinante que está frenando la recuperación de la vegetación.

Como vemos, los dos enfoques utilizados para evaluar los factores que limitan la restauración del

ecosistema páramo, el local y el experimental, tienen potencialidades diferentes, aunque no presentaron inconsistencias. La escala local nos permitió una identificación más rápida de los factores ecológicos implicados en la degradación y restauración de las laderas degradadas. Por otro lado, el análisis experimental, aunque es más contundente en la separación de factores, tiene la limitación de que hay que esperar más tiempo para detectar la respuesta de la vegetación, así como un mayor costo, quedando además el problema de que las repeticiones de los tratamientos se realizan dentro de una misma parcela, lo que dificulta la extrapolación de los resultados obtenidos. Sin embargo, este enfoque tiene la ventaja de que se prueban manipulaciones muy específicas que constituyen experiencias valiosas para generar posibles prácticas de restauración.

CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA LA RESTAURACIÓN

Del análisis a escala regional resalta que el cultivo de trigo se implementó rápidamente después de la llegada de los españoles y se prolongó por 400 años. Se practicó sobre laderas con grandes pendientes donde se favorecieron los procesos de degradación debido a la utilización de una tecnología que, por ser transplantada de las mesetas ibéricas, no contemplaba prácticas eficientes de control de la erosión. Sin embargo, este tipo de prácticas eran bien conocidas por los agricultores andinos precolombinos, quienes desarrollaron impresionantes sistemas de andenerías (terrazas) con irrigación a lo largo de la cordillera, de donde surge el nombre de Los Andes. Estos andenes precolombinos en algunas partes transformaron por completo el escarpado paisaje andino, adecuándolo para el cultivo (Treacy 1994). En los Andes venezolanos también hay evidencias de sistemas de andenes precolombinos (Wagner 1979), pero irónicamente fue el sistema de cultivo español, menos apropiado para estos ambientes, el que se impuso. Las prácticas erradas y lo prolongado del ciclo triguero dejaron, una vez que el sistema triguero entra en decadencia, una gran cantidad de áreas con problemas serios de degradación, las cuales se distribuyen a lo largo de todos los Andes venezolanos. Se plantea entonces qué hacer con estas áreas degradadas, las cuales como se evidencia en este trabajo no se están regenerando espontáneamente, por lo que habría que plantearse la necesi-

dad de desarrollar y emprender proyectos de restauración ecológica que permitan mejorar su estructura y funcionamiento así como sus servicios ecosistémicos.

Los estudios realizados en el Valle Alto del río Chama revelaron la presencia de casi 2.500 ha de zonas degradadas, las cuales se encuentran en situaciones de alta pendiente y baja precipitación, con una vegetación ya sea de pajonales o arbustales degradados. Después de 50 o más años de abandono no se ha recuperado la vegetación original de páramo, verificándose la existencia de "sucesiones detenidas" o en otros términos la poca reversibilidad a corto plazo del proceso de degradación. El cultivo de trigo causó una erosión masiva, con decapitamiento del suelo y en los casos más extremos la formación de grandes sistemas de cárcavas. Los factores identificados como limitantes para la recuperación del páramo son la pérdida de la fertilidad del suelo, principalmente de la materia orgánica, y probablemente la distancia a las fuentes de semillas, mientras que el pastoreo actual no se mostró como un factor decisivo, aunque el pastoreo histórico parece haber contribuido a la degradación. También se pudo observar que las zonas que han podido restaurarse son aquellas que sufrieron un menor impacto y donde ocurrió una erosión menor.

La identificación de los factores limitantes para la recuperación del páramo tiene implicaciones muy im-

portantes sobre las posibles estrategias de restauración. Por una parte nos indica que una práctica que pudiera ser sencilla de aplicar, como es la eliminación o reducción del pastoreo extensivo, el cual de hecho no reviste de una importancia económica fundamental para los pobladores, no tendría un efecto significativo sobre la restauración (aunque pudiera prevenir una mayor degradación). Las prácticas que tendrían que ser evaluadas son aquéllas tendientes a restaurar la capacidad del suelo para retener agua y nutrientes y que le permitan soportar una cubierta vegetal más densa, como por ejemplo la introducción de leguminosas, cultivos de cobertura, la incorporación de materia orgánica, etc. Estas no son prácticas fáciles de aplicar a gran escala y sobre todo resultan económicamente costosas. La necesidad de introducir propágulos de las especies de páramo queda aun por evaluar, ya que si bien el grado de degradación está relacionado con la distancia a las fuentes de semillas, una interpretación alternativa es que esta distancia refleja la intensidad y duración del disturbio por cultivo de trigo. Experimentos de repoblación con especies nativas podrían ser útiles para evaluar si estas son capaces de establecerse en las zonas degradadas.

El hecho de que la máxima riqueza y diversidad se haya encontrado en las áreas transicionales y no en el páramo natural, podría explicarse recurriendo a la hipótesis del disturbio intermedio (Collins *et al.* 1995), que postula que en etapas intermedias de la sucesión puede haber mayor diversidad debido a que muchas especies han colonizado y no ha ocurrido aún una exclusión competitiva. Los páramos, que para efecto de este trabajo fueron considerados como no degradados, son sin embargo páramos relativamente pobres, típicos de estas zonas ubicadas en el extremo más seco en la distribución de este ecosistema. Su pobreza también puede estar relacionada con que han sido sometidos a presiones antrópicas. A pesar de la poca diferencia en cuanto a riqueza y diversidad entre las zonas degradadas y los páramos, si hay una diferencia importante en cuanto a estructura de la vegetación, con dominancia de especies muy diferentes, cambios evidentes en la biomasa vegetal y en las características del suelo, que indican funcionamientos ecosistémicos diferentes.

La dinámica de restauración del ecosistema páramo en las laderas degradadas es muy diferente a la reseñada para los sistemas agrícolas con descansos largos (ver capítulo de Sarmiento y Llambí, en este mismo volumen) en los cuales se cultiva papa por 2 a 3 años y

luego se deja en descanso por un periodo de hasta 15 años. En este tipo de agricultura, la regeneración del páramo ocurre relativamente rápido, con *Espeletia schulzii* e *Hypericum laricifolium* dominando después de 10 a 12 años, a diferencia de las laderas degradadas donde la sucesión secundaria aparece “detenida” después de un abandono de varias décadas. La gran diferencia entre estas dos situaciones es que el impacto del disturbio agrícola en los sistemas con descanso largo es mucho menor, sin cambios importantes a nivel del suelo y con un paisaje en mosaico que acorta la distancia entre los sitios de producción de semillas y las zonas en sucesión, aunado a lo corto del periodo agrícola que permite la persistencia de un banco de semillas. Bajo estas circunstancias se evidencia la buena capacidad de regeneración espontánea que puede tener el páramo.

La tendencia actual de incorporar las laderas degradadas a la agricultura intensiva, que se viene observando en el área de estudio, pudiera, si se practica racionalmente, tener efectos positivos en la restauración de las zonas degradadas, considerando que a diferencia del sistema triguero, los sistemas intensivos actuales utilizan cantidades ingentes de abonos orgánicos (gallinazo, cáscara de arroz y *humus*) y de fertilizantes (Smith *et al.* en preparación), que pudieran ayudar a restaurar la materia orgánica perdida. En este sentido, las laderas degradadas son el área más accesible para la expansión de este pujante modelo productivo y podría pensarse que tiene más sentido ecológico recolonizar áreas degradadas, que avanzar la frontera agrícola sobre la vegetación natural. Sin embargo, sería necesario garantizar que los sistemas agrícolas actuales sean sustentables y no resulten, como el sistema triguero, en la degradación de su propia base productiva, en ese sentido las políticas deberían ir hacia la implementación de más prácticas eficientes de control de la erosión y mantenimiento de la materia orgánica.

Finalmente queremos dejar planteado cual puede ser el futuro de estas áreas degradadas por el sistema triguero. Si la meta es restaurarlas hay que comenzar, como en cualquier proyecto de restauración, por definir los objetivos o metas a alcanzar. En este sentido hay dos alternativas: restaurar y mantener la biodiversidad del ecosistema páramo o bien rescatar los servicios ecosistémicos de estas áreas sin importar el rescate de la vegetación original. Las estrategias a utilizar dependen de definir este objetivo. También es necesario plantearse qué tan irreversible es el estado actual de degradación y qué costo económico puede representar el llevar el sistema

ya sea hacia algo parecido a lo que era originalmente o bien hacia otra meta particular. Finalmente, es necesario plantearse qué interés o apoyo local pueda generarse para emprender este tipo de planes, el cual dependerá en gran medida de la importancia de los servicios que estas áreas provean, por ejemplo si se puede mejorar su capacidad de carga o su rol en el balance hídrico de la región.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está enmarcado dentro de los proyectos "Ecological basis for the restoration of abandoned and degraded areas in the Venezuelan Andes", financiado por la IFS (C/2668-1); "Restauración de laderas trigueras degradadas en los Andes venezolanos: estado actual y factores que limitan la regeneración" financiado por el CDCHT-ULA (C-1288-01-B) y TROPANDES (No IC18-CT98-0263) financiado por la Unión Europea. Asimismo, se benefició del proyecto de Fortalecimiento a Grupos de Investigación del FONACIT (F-2002000424). Queremos agradecer a Nelson Márquez, Ana Escalona, Coromoto Erazo, Benito Briceño, Francis Guillén, Zulay Méndez y David Dugarte, por su colaboración en el trabajo de campo y de laboratorio, así como en la identificación de muestras botánicas. Finalmente nuestro agradecimiento a Maximina Monasterio, promotora de los estudios en los páramos andinos.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar L. 1978. *El subsidio conservacionista y la difusión y adopción de innovaciones tecnológicas*. Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales.
- Andressen R & R Ponte. 1973. *Estudio integral de las cuencas de los ríos Chama y Capazón*. Subproyecto N° II, Climatología e Hidrología. ULA, Mérida.
- Ataroff M & L Sarmiento. 2003. *La diversidad en los Andes Venezolanos: I Mapa de unidades ecológicas del estado Mérida*. Edición en CD-Rom. Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas. Universidad de los Andes, Mérida.
- Cardozo A. 1965. *Proceso de la historia de los Andes*. Caracas: Biblioteca de Autores y Temas Tachirenses.
- Carnevali A. 1944. *Aspectos económicos y sociales del cultivo del trigo en los Andes*. Universidad de Los Andes, Mérida.
- Castillo JB. 1953. *El cultivo de trigo en las cabeceras del río Chama, Edo. Mérida*. Ministerio de Agricultura y Cría, Dirección Forestal, División de Conservación de Suelos. Caracas.
- Codazzi A. 1841. *Resumen de la geografía de Venezuela*. En: Obras Escogidas Vol. I. Caracas: Biblioteca Venezolana de Cultura, edición 1960.
- Collins SL, SM Glenn & DJ Gibson 1995. Experimental analysis of intermediate disturbance and initial floristic composition: decoupling cause and effect. *Ecology* 76: 486-492.
- Consejo de Bienestar Rural. 1953. *Problemas económicos y sociales de los Andes Venezolanos*. Caracas.
- de Robert P. 1993. *Prácticas campesinas en el Páramo de Apure. Fundamentos ecológicos económicos y sociales de un sistema de producción andino (Cordillera de Mérida Venezuela)*. Tesis de Doctorado, Universidad de Los Andes, Mérida.
- de Robert P & M Monasterio. 1995. *Cambios y continuidades en el sistema triguero de la Cordillera de Mérida, Venezuela*. En: Heinen HD, JJ San José & H Caballero Arias, eds. *Naturaleza y Ecología Humana en el Neotrópico. Scientia Guianae* 5: 269-296.
- FAO. 1993. *Agro-ecological assessment for National planning: an example of Kenya*. FAO Soils Bulletin No 67.
- Febres Cordero T. 1932. *Obras Completas, Archivos de Historia y Variedades*. Tomo II. Ediciones Antare, edición de 1960.
- Greig-Smith P. 1983. *Quantitative Plant Ecology*. Berkeley, University of California Press.
- Jongman RHG, CJF Ter Braak & OFR Van Tongeren. 1995. *Data analysis in community and landscape ecology*. Cambridge University Press. 299 pp.
- Ministerio de Agricultura y Cría 1998. *Diagnóstico del área Municipio Rangel*. Mérida: División de Planificación Estadística, UEDA-Mérida.
- Ministerio de Agricultura y Cría. 1950, 1961, 1985. Dirección de Estadística. *Censo agropecuario*. Caracas.
- Miralles ZMF & M Marín Mata. 1999. *Santa Lucía de Mucuchies, 1586-1903*. Colección Pueblos y Parroquias de Los Andes No. 2. Mérida: Archivo Arquidiocesano de Mérida.
- Molano J. 1990. *Villa de Leiva: ensayo de interpretación social de una catástrofe ecológica*. Bogotá: Fondo Fen de Colombia.
- Molinillo M & M Monasterio. 1997. Pastoralism in páramo environments: practices, forage and vegetation impact in the Cordillera of Mérida, Venezuela. *Mountain Research and Development* 17: 197-211.
- Monasterio M. 1980a. Poblamiento humano y uso de la tierra en los altos Andes de Venezuela. En: Monasterio M, ed. *Estudios Ecológicos en los páramos Andinos*. Mérida: Ediciones de la Universidad de los Andes, 170-198.
- Monasterio M. 1980b. Las formaciones vegetales de los Páramos venezolanos. En: Monasterio M, ed. *Estudios Ecológicos en los Páramos Andinos*. Mérida: Ediciones de la Universidad de los Andes, 93-159.
- Morales A & R Giacalone. 1990. Caracterización histórica de ciclo triguero en los pueblos de sur de Mérida: factores favorables y limitantes. *Tierra firme*: 8(VIII): 545-557.
- Porrman-Moreno JR. 1992. *Uso tradicional de la tierra y la degradación en los Andes venezolanos – Región de Los Nevados, Sierra de Mérida, Venezuela*. Tesis de Grado, Alemania: Universidad de Bonn.
- Ramírez-Angulo NM. 1970. *Aspectos geográficos del cultivo del trigo en Los Andes venezolanos*. Tesis de grado, Mérida: Universidad de Los Andes.

- Romero L. 2005. *La estrategia de la semilla en el sistema papero de los Andes de Mérida. Una visión desde la perspectiva agroecológica*. Tesis de Doctorado. Mérida: Universidad de Los Andes, Mérida.
- Sarmiento L, & LD Llambí. 2008. *Sucesión-regeneración del ecosistema páramo después de un disturbio agrícola: una síntesis de dos décadas de investigación en la Cordillera de Mérida*. En: Herrera F & I Herrera, eds. *Experiencias de Restauración en Venezuela*. Ediciones IVIC, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas, Caracas, Venezuela. pp XX-XX.
- Sarmiento L, JK Smith, N Márquez, A Escalona & C Erazo. En preparación. Factors limiting vegetation restoration in mountain degraded areas of the northern Andes: a landscape approach. *Ecological Restoration*.
- Sarmiento L, LD Llambí, A Escalona & N Márquez. 2003. Vegetation patterns, regeneration rates and divergence in an old-field succession of the high tropical Andes. *Plant Ecology* 166: 63-74.
- Sarmiento L. 2006. Grazing impact on vegetation structure and plant species richness in an old-field succession of the Venezuelan paramos. Spehn E, M Liberman & C Körner, eds. *Land use changes and mountain biodiversity*. Boca Raton FL, USA: CRC Press LLC, 119-135.
- Smith JK, L Sarmiento, D Acevedo, M Rodríguez & MV Dávila. En preparación *Caracterización de dos comunidades pa-peras en los Andes merideños: Mixteque y Misintá*.
- Treacy JM 1994. *Las chacras de Coporaque: andenería y riego en el valle del Colca*. Lima: Instituto de Estudios Peruanos.
- Tulet JC. 1979. *Elementos teóricos y tentativa de aplicación del análisis integrado en la subcuenca de la quebrada Tuñame*. Mérida: Universidad de los Andes. Facultad de Ciencias Forestales. Instituto de Geografía y Conservación de Recursos Naturales. Convenio ULA-CONICIT.
- Tulet JC. 1986. *Evaluación cualitativa del impacto de los sistemas de riego en los valles altos de los Andes venezolanos*. Mérida: Corporación de los Andes.
- Velázquez N. 2004. *Modernización agrícola en Venezuela. Los valles altos andinos 1930-1999*. Caracas: Fundación Polar.
- Vila MA. 1950. *Aspectos geográficos del Táchira*. Caracas: Imprenta Nacional.
- Vila MA. 1967. *Aspectos geográficos del estado Mérida*. Caracas: Corporación Venezolana de Fomento.
- Vila MA. 1970. *Una geografía humano-económica de la Venezuela de 1873*. Caracas: Ministerio de Fomento, Dirección General de Estadísticas y Censos Nacionales.
- Vivas L. 1992. *Los Andes venezolanos*. Caracas: Academia Nacional de la Historia.
- Wagner E. 1979. Arqueología de los Andes venezolanos. Salgado-Labouriau, ed. *El Medio Ambiente Páramo*. Caracas: IVIC, 207-218.