



Resposta hidrológica em bacias de cabeceira com uso da terra em florestas plantadas nos Andes intertropicais da Colômbia

Guillermo Vásquez Velásquez¹
Nataly Foronda Ortega²

¹Professor Associado, Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, (glvasque@unal.edu.co)

²Engenheira Florestal, Universidade Nacional da Colômbia, Estudante de Mestrado em Recursos Florestais, ESALQ/USP, (nataly.foronda@usp.br)

RESUMO: Na Cordilheira Central dos Andes da Colômbia (4°50" N, 75°35" W, altitude 2.000 m), foram estabelecidas três bacias experimentais de Ordem 1: Floresta Natural (BN), como linha de base; Pastagem (PA), com atividade pecuária; e Floresta Plantada (PF) com *Eucaliptus saligna-gandis* em segunda rotação após a substituição das pastagens há 20 anos. Instrumentos digitais foram disponibilizados para a medição de precipitação e vazões durante 48 meses. As comparações foram feitas nos termos de (1) balanço hídrico, (2) resposta hidrológica (Produção Hídrica (PH) e Coeficiente de Escoamento (CE)), e (3) avaliação da capacidade de regulação hidrológica a partir da Curva de Duração do Vazão (CDV). Os resultados mostraram que na cobertura de Florestas Plantadas, o consumo de água é 14% superior ao valor de referência na Floresta Natural; a cobertura em pastagens gera 4% a mais de vazões em relação aos valores de referência. Os parâmetros PH e CE ratificam essas tendências de resposta hidrológica. A CDC mostrou que as Florestas Plantadas exercem um efeito muito positivo de atenuação das vazões máximas e manutenção das vazões de base, que embora não igualem a condição apresentada pelas Florestas Naturais, estão próximas a ela, e notadamente distantes da dinâmica de geração na condição de pastagens, o que confirma um valioso efeito da regulação hidrológica ao transformar áreas com uso em pastagens em florestas plantadas para fins comerciais.

Palavras-chave: hidrologia florestal, resposta hidrológica, bacias de cabeceira, Andes tropicais

Introdução

Os Andes tropicais da Colômbia são a região geográfica mais desmatada, fortemente intervencionada para o estabelecimento da agricultura e pastoreio extensivo e mais densamente povoada em todo o país. Nelas há grandes áreas com usos marginais da terra, com baixa produtividade agrícola, e processos acelerados de degradação devido ao fato de serem paisagens de forte declive e chuvas. A reflorestação apresenta aí uma grande oportunidade de desenvolvimento, não só por razões econômicas e sociais, mas também pela recuperação da paisagem, melhoria dos solos degradados, criação de refúgios para a fauna e melhoria das condições hidrológicas.

A pesquisa foi realizada com o objetivo de determinar os efeitos do estabelecimento de florestas plantadas sobre a resposta hidrológica de bacias de cabeceira, em comparação com condições semelhantes em florestas naturais (tomadas como linha de base) e com bacias submetidas à pastagem de gado bovino em pelo menos os últimos 100 anos.



Material e Métodos

Área de Estudo e Bacias Monitoradas

A área de estudo está localizada na Cordilheira Central dos Andes da Colômbia, flanco ocidental, município de Santa Rosa de Cabal (Risaralda), em aproximadamente 4°50' N, 75°35' W e altitude média é de 2.000 m. A precipitação é regida pelo Frente de Convergência Intertropical (ITZC), com valor médio de 2.585 mm/ano, distribuição bimodal e média de 209 dias chuvosos por ano, com máximas em abril e outubro. A temperatura média é 17,4 °C com baixa variação intra-anual.

A geologia corresponde a rochas vulcanoclásticas, basaltos e andesitos, do Cretácico Inferior (Mesozóico), identificadas como K1-VCm5 (Gómez et al., 2015). Os solos foram formados a partir da deposição de cinzas vulcânicas e lapilli que ocorreu desde o final do Pleistoceno, do complexo vulcânico de Ruiz, Santa Isabel e Tolima; trata-se de Andisols (Typic Dystrandeps), pretos, profundos, de baixa densidade aparente, e bem drenados (IGAC, 2004).

Na área de estudo foram selecionadas três microbacias representativas dos usos da terra de interesse do monitoramento: uma em Floresta Natural (BN), ecossistemas andina muito diversos, com área de 7,4 ha, considerada como linha de base de referência; outra em Pastagens (PA) com pastoreio ativo de gado bovino, com área de 5,2 ha; e uma terceira em Florestas Plantadas (PF) de *Eucalyptus saligna-grandis* (idade inicial de dois anos), com área de 9,5 há, estabelecidas em áreas sujeitas a pastagem há pelo menos um século. São bacias hidrográficas de Ordem 1 (Horton-Strahler), vazão permanente, e com parâmetros morfométricos semelhantes. Eles estavam localizados na mesma encosta da montanha, formação geológica, tipo de solo e declividade média de 47,0%. A distância entre elas é inferior a 4 km. O monitoramento foi conduzido entre 2011 e 2014 (48 meses).

Medição de Precipitação e Vazões

Para medição de precipitação foram instalados dois pluviômetros eletrônicos Hobo RG3-M, acoplados a um dispositivo de armazenamento de dados (datalogger) com precisão de 0,2 mm, na cabeceira e na saída de cada bacia. Além disso, na casa mais próxima foi instalado outro pluviômetro de reserva. Por se tratar de bacias pequenas com pouca variação espacial na precipitação, os registros foram calculados de acordo com a técnica de distribuição média espacial da média aritmética (Chow et al., 1994).

A medição da vazão foi realizada usando vertedores triangulares (45° em PA y 60° em BN y PF) parcialmente contraídos de parede fina. Estes foram construídos em chapa de aço inoxidável, biselada para que a fricção da água no vazamento fora o mínimo, embutida na parede frontal de um



tanque acalmador em concreto armado com as dimensões indicadas por Chang (2006) para garantir a velocidade mínima de aproximação (inferior a 0,3 m/min). O local de instalação dos vertedores foi escolhido de forma a ficar num estreitamento natural do terreno, garantindo que ali se concentrassem os fluxos previsíveis do solo e do subsolo.

O registro dos níveis no tanque foi realizado através de sensores de pressão (Hobo U 20 Water Level Data Logger U20-001-04), cuidadosamente colimados com a base do vértice da crista dos vertedores, programados para fazer leituras de nível a cada minuto. Para compensar os efeitos da pressão atmosférica sobre o corpo de água formado no tanque, foram instalados ao ar livre sensores de pressão semelhantes aos descritos. Com os registros síncronos de pressão atmosférica e pressão da coluna d'água, a filtragem foi feita utilizando o programa HoboWare Pro Ver. 3.7.2, mesmo que permite a transformação da pressão hidrostática para a altura da coluna de água, considerando a densidade e a temperatura da água; esses últimos valores foram transformados em vazão (m^3/s ou l/s) com as equações propostas no Water Measurement Manual (USDA, 2001) para vertedores triangulares.

Resultados e discussão

Balanço Hídrico, Produtividade Hídrica (RH) e Coeficiente de Escoamento (CE)

A partir das séries temporais obtidas nas três bacias foi calculado o balanço hídrico com base na profundidade da água. O principal resultado é mostrado na Figura 1 para a Evapotranspiração Real (ETR), sendo baixa para PA e um pouco maior para PF em comparação com BN; isso indica um maior consumo de água pelas Florestas Plantadas em sua fase mais vigorosa de crescimento (2-6 anos), apresentando-se uma redução de 14% na vazão em relação com à linha de base em Floresta Natural. Esse valor de consumo de água é exatamente o informado por Farley et al. (2005) para as florestas plantadas em várias regiões do mundo incluindo áreas intertropicais.

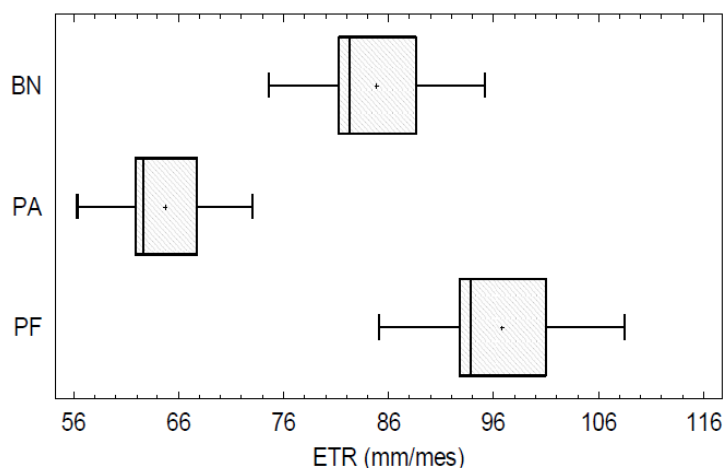


Figura 1. Valores de Evapotranspiração Real (ETR) mensal para as bacias de monitoramento da Floresta Natural (BN), Pastagem (PA) e Floresta Plantada (PF).

O cálculo do Produtividade Hídrica (PH) ponderado pela área de cada bacia e do Coeficiente de Escoamento (CE) é apresentado na Tabela 1. Esses parâmetros de resposta hidrológica coincidem corretamente com os relatos da literatura científica (Hibbert, 1967; Hewlett & Nutter, 1969; Lee, 1980; Zhang et al., 2001; Farley et al., 2005; Chang, 2006; Calder, 2007; Tobón & Arroyave, 2008; Lima, 2010), no sentido de que a cobertura de florestas plantadas em pleno desenvolvimento produtivo apresenta o maior consumo de água em relação às florestas naturais. Por outro lado, sob cobertura de pastagem ocorrem maiores vazões de água, embora sua geração seja regulada de forma muito precária (numeral 3.2).

Tabela 1. Produtividade Hídrica (PH) e Coeficiente de Escoamento (CE) determinados para as bacias de monitoramento durante o período de medição.

PARÂMETRO	FLORESTA NATURAL (BN)	PASTAGEM (PA)	FLORESTA PLANTADA (PF)
Produtividade Hídrica (PH) (l/s/ha)	0,41	0,43	0,34
Coeficiente de Escoamento (CE) (%)	58,3	62,3	44,0

Curva de Duração da Vazão

Na Figura 2 são apresentadas para as três microbacias as Curvas de Duração da Vazão, CDV, expressas em unidades de vazão unitária (l/dia/ha). A forma das curvas, sobretudo o declive acentuado que apresentam na faixa de excedência de 0 - 10%, mostra que se trata de bacias



montanhosas, com declives acentuados, como é típico de nascentes da paisagem Andina estudada. Da mesma forma, essa inclinação é um indicador de que a resposta em vazões máximas é do tipo pulsátil aos estímulos de chuva.

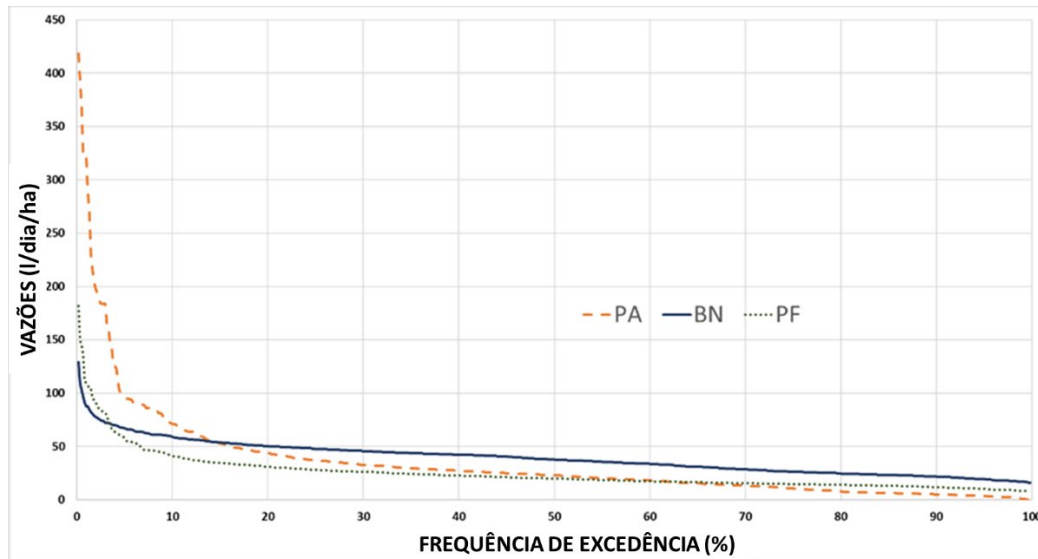
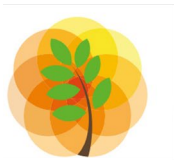


Figura 2. Curva de Duração da Vazão para as bacias de monitoramento em Floresta Natural (BN), Pastagens (PA) e Floresta Plantada (PF)

A bacia de Pastagem (PA) gera de forma muito relevante e pontual vazões máximas de grande magnitude, até mais de 400 l/dia/ha, mas na maioria das vezes as vazões em ultrapassagens de 20 a 100% são muito baixas, sendo capaz de atingir 0 l/dia/ha. É um comportamento típico de bacias que geram altas vazões diante de estímulos pluviométricos elevados, mas que são significativamente reduzidas em épocas de baixa pluviosidade. É um comportamento típico da torrencialidade hidrológica ambientalmente indesejável.

Ao contrário do caso anterior, na bacia de Floresta Natural as vazões máximas entre 0 e 10% de excedência são aproximadamente um terço das da PA, sendo que sua vazão até 100% de excedência é a maior, sem chegar a esgotar por nenhuma probabilidade de excedência. Esta é uma bacia que gera respostas relativamente atenuadas a altas entradas de precipitação, acompanhadas pela manutenção de altos fluxos de base o tempo todo.

A curva que mostra a condição de Floresta Plantada (PF) tem um comportamento importante: as altas vazões até 10% de excedência, embora maiores que as da BN, são menos da metade das da PA, e a partir daí, embora sejam mais inferiores a BN, permanecem acima das de PA sem se esgotarem por nenhuma probabilidade de excedência. Há nisto um claro efeito de atenuação de



vazões altas e de manutenção de níveis importantes de vazões de base durante todo o tempo de monitoramento, atribuível, neste caso, à presença da plantação. Este é um efeito regulador muito importante nas vazões que se obtém como medida restauradora gerada pelo estabelecimento de florestas plantadas em antigas áreas de pastagens.

Conclusão

Nesta investigação, ficou evidente um efeito hidrológico favorável devido ao estabelecimento de florestas plantadas em antigas áreas dedicadas por mais de um século ao mau pastoreio de gado bovino. Embora as florestas plantadas para fins comerciais gerem maior consumo de água em comparação com a referência em florestas naturais, isso pode ser justificado por uma maior condição de regulação hidrológica das vazões, no sentido de mitigar, até certo ponto, altas vazões, e manter níveis aceitáveis de fluxos de base.

Os grandes sistemas hidrológicos dos Andes da Colômbia, dos quais deriva o uso da água para abastecimento doméstico, irrigação de cultivos e geração de energia hidrelétrica, são compostos a montante de centenas a milhares de bacias de cabeceiras de Ordem 0 e 1. A atividade produtiva florestal, à luz da estes achados, é perfeitamente compatível com a manutenção e aumento dos valores hidrológicos desejáveis.

Referências bibliográficas

- CALDER, I. 2007. Forest and water: Ensuring forest benefits outweigh water costs. *Forest Ecology and Management*, 251: 110-120.
- CHANG, M. 2006. *Forest Hydrology; an Introduction to Water and Forests*. Second Edition. Taylor & Francis. Boca Raton, FL, USA. 474 p.
- CHOW, V.T.; MAIDMENT, D.R.; MAYS, L.W. 1994. *Hidrología Aplicada*. McGrawHill. 584 p.
- FARLEY, K.A.; JOBBAGY, E.G.; JACKSON, R.B. 2005. Effects of afforestation on water yield: a global synthesis with implications for policy. *Global Change Biology*, 11: 1565-1576.
- GÓMEZ, J.; NIVIA, Á.; MONTES, N.; DIEDERIX, H.; ALMANZA, M.; ALCÁRCEL, F.; & MADRID, C. 2015. Explanatory notes: Geological Map of Colombia. In: Gómez, J. & Almanza, M.F. (Editors), *Compilando la geología de Colombia: Una visión a 2015*. Servicio Geológico Colombiano, Publicaciones Geológicas Especiales 33, p. 35-60. Bogotá.
- HEWLETT, J.; & NUTTER, W. 1969. *An Outline of Forest Hydrology*. Univ. of Georgia (USA). 137 p.
- HIBBERT, A. 1967. Forest treatment effects on water yield. In: Sopper & Lull (Ed.) *International Symposium of Forest Hydrology*. Pergamon Press. Pp. 527-543.
- IGAC – Instituto Geográfico Agustín Codazzi. 2004. *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras del Departamento de Risaralda*. Escala 1:200.000. Colombia. CD.
- LEE, R. 1980. *Forest Hydrology*. Columbia University Press. New York, USA. 349 p.
- LIMA, W. DE P. 2010. A Silvicultura e a Água: Ciência, Dogmas, Desafios. *Cadernos do Diálogo*, Vol. 1, 2010. 62 p.
- TOBÓN, C. & ARROYAVE, F. 2008. Hidrología de los bosques alto-andinos. En: *Ecología de Bosques Andinos*,



Universidad Nacional de Colombia. J. D. León Ed. 213p.

USDA – United States Department of Agriculture. 2001. Water Measurement Manual. Water Resources Research Laboratory. 317 p.

ZHANG, L.; DAWES, W. R.; WALKER, G. R. 2001. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. Water Resources Research, 37 (3): 701-708.

