



# 3

DOCUMENTOS  
DE TRABAJO

WORKING  
PAPERS

## **Determinando compensaciones por servicios ambientales del agua. Provincia de Chimborazo, Ecuador.**

**Rubén Darío Estrada**

Enero 2011



Este documento es el resultado del proyecto *AN1 – On Designing and Implementing Benefit-Sharing Mechanisms* que Rimisp lleva a cabo en Bolivia, Colombia and Ecuador en colaboración con varios socios. El programa cuenta con el auspicio del CGIAR Challenge Program on Water and Food. Se autoriza la reproducción parcial o total y la difusión del documento sin fines de lucro y sujeta a que se cite la fuente.

This document is the result of the *AN1 – On Designing and Implementing Benefit-Sharing Mechanisms* project, implemented by Rimisp in Bolivia, Colombia and Ecuador. The program has been supported by the CGIAR Challenge Program on Water and Food. We authorize the non-for-profit partial or full reproduction and dissemination of this document, subject to the source being properly acknowledged.

Cita/Citation:

Rubén Darío Estrada. 2011.  
“Determinando compensaciones por servicios ambientales del agua. Provincia de Chimborazo, Ecuador.”. Documento de trabajo nº3. Proyecto Agua en Los Andes: Compartiendo Beneficios. Rimisp, Santiago, Chile.

© Rimisp – Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural

Determinando compensaciones por servicios ambientales del agua. Provincia de Chimborazo, Ecuador.

Documentos de Trabajo 131 Working Papers



## Abstract

In some high parts of Andean watersheds, we observed that benefit distribution between direct and indirect (those linked by employment or income) users is unequal, making necessary the development of a new system that would increase the proportion of benefits received by the former group.

For this reason, AN1 project is trying to develop a fast application methodology to estimate the magnitude of compensation for water that could be achieved in the Andean area of Colombia, Ecuador, Peru and Bolivia. This method will permit an estimation of social benefits, private profitability and competitiveness based on the cost of domestic resources that will take into account the strong link between income and employment. This method will also provide information for evaluating the impact that water-related benefits could have on poverty reduction.

Based on our results, we found that the new Thermic Times (TT) methodology allows to quickly estimating biomass production potential, grain production, efficiency in the use of water, pasture quality and value of biomass production based on quality.

On the other hand, we found that the SWAT model is accurate for predicting nutrients and inputs and for incorporation of management system. The model allows determining stress caused to the plant by temperature, nitrogen and phosphor. It is also useful to identify leachate of nutrients/extraction with water of nutrients from leachate and how to correct this process through intervals between applications.

However, the use of the SWAT model for the sweeping of large areas would require an important amount of time and data. TT methodology represents a quick and more efficient method to sweep millions of hectares when looking for potential areas to produce water-related benefits. In order to generate more detailed results, the SWAT model and the TT methodology were plugged in for analyses conducted in the Northern Hemisphere where we find a high correlation between TT and solar radiation. Adjustments to the model are currently being made in order to apply the model in the Southern Hemisphere.

## Antecedentes

Rimisp, Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural, propuso al CPWF desarrollar una metodología de rápida aplicación para estimar la magnitud de la compensación por agua que se podría alcanzar en la zona andina de Colombia, Ecuador, Perú y Bolivia. Esta estimación permitiría concentrarse en aquellas zonas donde las externalidades ambientales por agua tendrían gran efecto en la competitividad de las zonas donde se utiliza el agua y en la rentabilidad social del agua, tanto donde se utiliza como donde se genera. Para todo el análisis se estima la rentabilidad privada, la competitividad con base en el costo de los recursos domésticos y la rentabilidad social, considerando los encadenamientos de ingreso y empleo. Todo este esquema permite estimar la compensación a los productores de agua en las partes altas de las cuencas y el impacto que esto tendría en la reducción de la pobreza.

No se han encontrado reportes que esta aproximación rápida se haya intentado en Latinoamérica pues requiere un análisis de cuenca para identificar las Unidades de Respuesta Hidrológica (URH) que aportan el agua al caudal y la URH donde dicha agua se utiliza. Los análisis de cuenca identificando URH generalmente no cubren más de 30.000 hectáreas y unas 400 URH. Esto implicaría que para analizar un área de 1 millón de ha se necesitaría un estudio conjunto de cerca de 30 cuencas que estén todas integradas. La propuesta inicial de Rimisp tenía como base las URH estimadas por el modelo SWAT que, integradas a los modelos de costo de recursos domésticos y encadenamientos de ingreso y empleo, mostrarían la magnitud del beneficio por externalidades y adicionalmente, la distribución de los mismos en forma espacial y temporal, y entre diferentes actores de la sociedad. Esto delimitaría las Unidades de Respuesta Hidrológica socialmente efectiva (URHSE) donde el impacto en pobreza sería máximo.

En un proceso que ha durado unos seis meses se han encontrado nuevas aproximaciones que pueden ser muy útiles para estimar los parámetros mencionados. Estos se presentan a continuación teniendo en cuenta que son resultados preliminares obtenidos en 600.000 hectáreas de los 10 millones que se propone analizar el proyecto.

## Discusión de aspectos metodológicos

La zona andina (por encima de 2000 msnm) presenta las siguientes características que ayudan a simplificar la metodología inicialmente propuesta:

1. Rara vez la precipitación es superior a los 1200 mm/año y esto hace que la intensidad de la precipitación rara vez es superior a los 30 mm/media hora (Estrada, 2010). Revisando 2972 intensidades de precipitaciones se encontró que solo el 0.2 % de los aguaceros tenían intensidades

Determinando compensaciones por servicios ambientales del agua. Provincia de Chimborazo,  
Ecuador.

Documentos de Trabajo 131 Working Papers



superiores a 23 mm/media hora. El 1.4 % de los aguaceros tenia intensidades superiores a 5 mm/media hora.

2. Los suelos tienen una buena proporción de materia orgánica (8 -30 %), lo cual hace que retengan una alta proporción de la precipitación.

3. El volumen de agua del flujo lateral y la percolación son mucho más importante que la escorrentía. Con los niveles de intensidad de la precipitación y la proporción de la materia orgánica, una parte importante del agua es retenida en suelo.

4. Por los factores mencionados la mayoría del agua percolada es retenida en el acuífero superficial, siendo muy poca la que se pierde en el acuífero profundo.

5. La gran diferencia en los balances hídricos está relacionada con la diferencia entre la evapotranspiración real y potencial.

En todos los países andinos existen altas precipitaciones (más de 3000 mm/año) pero éstas solo se dan en la vertiente amazónica por debajo de 3000 msnm, donde el exceso de agua en las partes bajas hace que las externalidades ambientales por agua tengan muy poco valor. En Colombia estas precipitaciones se dan también en los valles interandinos pero se concentran en alturas entre los 1500 y 2000 msnm, donde caen hasta 8000 mm/anuales.

Bajo estas circunstancias la máxima productividad del agua está relacionada con la evapotranspiración potencial, que depende de la retención de agua en el suelo y, especialmente, de la producción de biomasa, la cual está muy relacionada con el tiempo térmico. Este factor comienza a ser muy importante porque las zonas de máxima producción de biomasa por encima de 2000 msnm (que son las que podrían compensar por agua de riego) están relacionadas con sistemas de riego, que son abastecidos por las partes altas de los Andes. Los sistemas por debajo de los 2000 msnm son abastecidos primordialmente por caudales generados entre los 1500 y los 2000 msnm.

Para las primeras aproximaciones se utilizó la producción de biomasa (kg MS/ha/ciclo vegetativo) basada en tiempo calendario (cuadro 1). Esto indicó como aproximación una tasa de crecimiento diario muy variable que hacía muy difícil estimar la evapotranspiración por día. Este parámetro se modificó sustancialmente cuando se estimó el índice de área foliar y la productividad basada en tiempos térmicos (Figuras 1 y 2). La productividad se ajustó bien a una estimación lineal siendo, la pendiente la productividad por grado térmico. También fue muy útil para predecir la calidad del pasto (alfalfa, kikuyo y raygrass), especialmente los niveles de proteína y la proporción de azúcares solubles que influyen sustancialmente en la digestibilidad de la materia seca. Con base en los tiempos térmicos se estimó la evapotranspiración por grado de tiempo térmico y la productividad del cultivo por grado térmico y a la madurez fisiológica.

Determinando compensaciones por servicios ambientales del agua. Provincia de Chimborazo, Ecuador.

Documentos de Trabajo IBI Working Papers

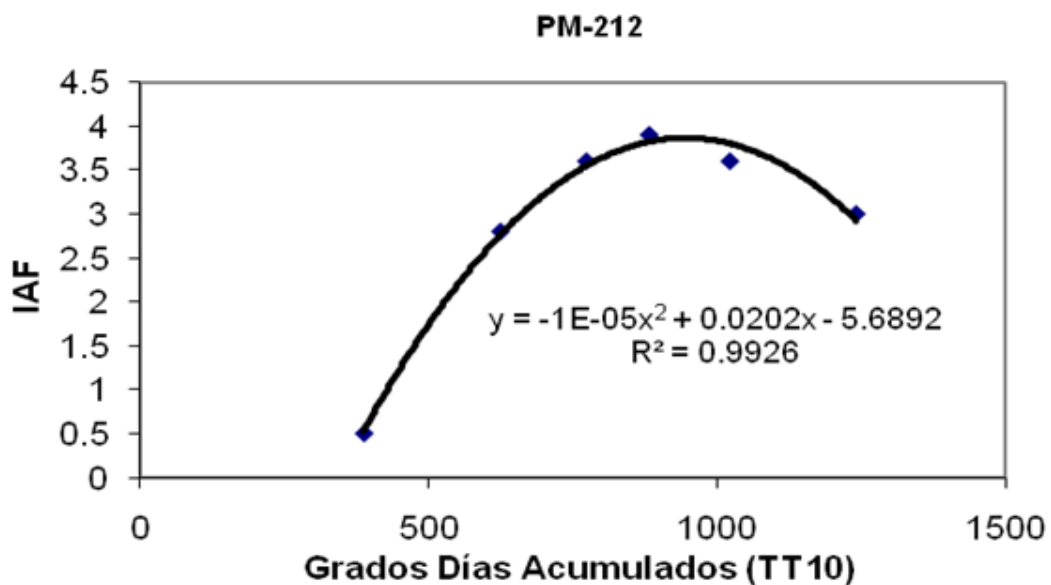


Cuadro 1. Ciclos vegetativos de híbridos de maíz con base en tiempo calendario

Localización	Época de siembra	Híbrido	Siembra	Cosecha	Floración masculina	Floración femenina	Rendimiento (kg/ha)
Comparación de híbridos en Cañete y la Molina	Verano	AG-612	04/02/2005	28/06/2005	57.00	59.00	8.88
		AG-5572	04/02/2005	28/06/2005	55.00	57.00	9.33
		C-701	04/02/2005	28/06/2005	56.50	58.50	9.66
		STAR	04/02/2005	28/06/2005	54.50	56.50	10.19
		XB-8010	04/02/2005	28/06/2005	55.50	58.00	8.97
	invierno	AG-612	17/06/2005	05/05/2006	123.50	127.00	11.59
		AG-5572	17/06/2005	05/05/2006	120.50	122.50	11.38
		C-701	17/06/2005	05/05/2006	117.00	119.25	9.96
		STAR	17/06/2005	05/05/2006	120.25	122.75	11.56
		XB-8010	17/06/2005	05/05/2006	117.50	120.50	9.46

Fuente: Izarraet *al*, 2009

Figura 1. Índice de área foliar



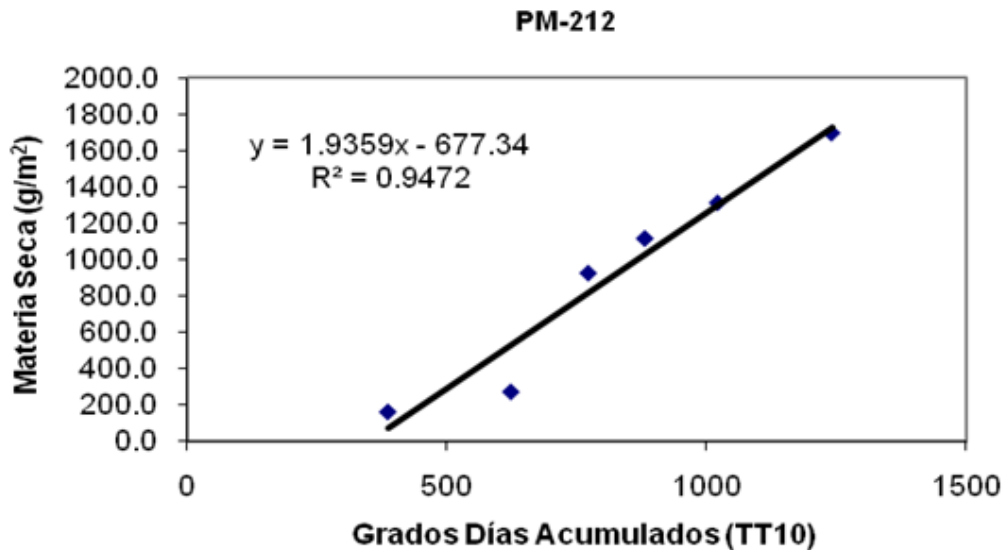
Fuente: Izarraet *al*, 2009

Determinando compensaciones por servicios ambientales del agua. Provincia de Chimborazo, Ecuador.

Documentos de Trabajo I3I Working Papers



Figura 2. Productividad del híbrido PM 212<sup>1</sup>



Fuente: Izarraet *al*, 2009.

Para estimar la rentabilidad privada los niveles de competitividad y los encadenamientos de ingreso y empleo se calcularon los costos de producción a través de la matriz de análisis de políticas. Para cada rubro se determinaron los costos por tonelada producida y la separación entre bienes transables, mano de obra y capital. Los encadenamientos hacia atrás fueron estimados con base en los jornales directos utilizados y la proporción de jornales utilizados en insumos como fertilizantes, etc. La matriz de análisis de políticas sigue la metodología desarrollada por Monke and Pearson (1989) para analizar la competitividad entre países, quitando todas las distorsiones macroeconómicas como aranceles, etc.

Para considerar los encadenamientos por ingresos se estimaron los ingresos netos privados y estos se multiplicaron por los valores por cultivo (2,3 para el caso de pasturas) sugeridos por deJanvry y Glikman en 1991 cuando analizaba los beneficios sociales que se generan cuando los estratos pobres rurales del Ecuador obtenían ingresos.

El punto fundamental de la competitividad se basa en que los sistemas de producción obtengan rentabilidad privada significativa. Si esto no es factible, los productores no adoptaran los sistemas propuestos. Es por eso que el primer filtro que se aplica para estimar los potenciales de compensación se basan en los ingresos netos privados generados por cada alternativa. Sin embargo, este factor puede crecer sustancialmente cuando además de tener rentabilidad privada

<sup>1</sup>La figura 2 muestra una producción constante de biomasa para el ciclo vegetativo sin importar el índice de área foliar. Este factor permite estimar el uso del agua basado en la producción de biomasa que se basa a su vez en el tiempo térmico. De esta forma podemos relacionar el tiempo térmico con la evapotranspiración, para cada cultivo específico.

Determinando compensaciones por servicios ambientales del agua. Provincia de Chimborazo, Ecuador.



muchas de las acciones se realizan con mano de obra. Esto permite aumentar los ingresos de los jornaleros y este es un factor muy importante como multiplicador de ingresos en los sistemas andinos. Esta primera aproximación se hizo solo con base en los ingresos netos.

### **Pasos metodológicos**

La tecnología incluye los siguientes pasos metodológicos que se deben realizar DE manera secuencia.

1. Delimitación del área de estudio.
2. Distribución espacial de la temperatura máxima y mínima por pixeles de 100 hectáreas.
3. Distribución espacial del uso de la tierra y/o los sistemas de producción y sus rotaciones.
4. Distribución espacial de los tiempos térmicos para los diferentes cultivos encontrados en los sistemas de producción y sus rotaciones. Pixeles de 100 ha.
5. Distribución espacial de la precipitación mensual y anual. Pixeles de 100 hectáreas.
6. Distribución espacial de la productividad del cultivo basado en los grados térmicos. Pixeles de 100 ha.
7. Distribución espacial de la evapotranspiración con base en la productividad. Pixeles de 100 ha.
8. Distribución espacial de la evapotranspiración neta por cada 100 ha. Para tal fin resta de la precipitación la evapotranspiración, considerando la productividad alcanzada con base en los grados térmicos.
9. Elaboración del modelo de costos de producción y competitividad. Inicialmente se estiman los costos de producción por ha. Posteriormente se determinan los costos de los diferentes insumos por tonelada producida. Para cada rubro de costos se determinan los bienes transables, la mano de obra y el ingreso per-cápita.
10. Para cada cultivo y/o rotación mostrar la distribución espacial de la rentabilidad privada. Pixeles de 100 ha.
11. Para las parcelas con rentabilidad privada determinar la sostenibilidad de largo plazo considerando la pendiente y la disponibilidad de agua aportada por las partes altas. Pixeles de 100 ha.
12. Determinar el área máxima de riego para las partes bajas considerando la evapotranspiración con base en la productividad. Pixeles de 100ha.
13. Determinar la compensación por hectárea en las partes altas considerando los ingresos netos del área máxima de riego. Pixeles de 100 ha.
14. Validación del modelo a nivel local. Con base en las distribuciones espaciales de los diferentes componentes se validan los parámetros resultantes contrastándolos con los encontrados a nivel de campo.

Determinando compensaciones por servicios ambientales del agua. Provincia de Chimborazo, Ecuador.

Documentos de Trabajo IBI Working Papers



## Principales resultados

1. Se ha podido tener un caso práctico donde se pueden comparar las ventajas y desventajas de utilizar esta aproximación por tiempos térmicos y la utilizada por SWAT.
2. Se ha realizado la investigación para construir espacialmente los modelos térmicos mensuales para siete cultivos (alfalfa, raygrass, kikuyo, zanahoria, cebolla, papa, maíz) utilizados, más frecuentemente en las rotaciones encontradas en terreno. Se están haciendo los tiempos térmicos con perfiles mensuales para las rotaciones de papa, maíz, zanahoria, cebolla y cuatro años de alfalfa.
3. Se han elaborado los costos de producción de 20 cultivos y las rotaciones pertinentes, con el esquema de insumos transables, mano de obra y capital que permite determinar el costo de recursos doméstico y los encadenamientos de ingreso y empleo.
4. Se ha realizado una primera aproximación espacial para estimar la compensación a las partes altas cuando el agua se utiliza para sembrar alfalfa en los sitios de máxima productividad. En los siguientes mapas se presentan algunos pasos intermedios: las pendientes, productividad basada en tiempo térmico, evapotranspiración basada en productividad y la compensación por producción de agua en las partes altas, basada en el ingreso neto que se genera, después que los productores obtienen una rentabilidad privada de 25% sobre los costos de producción.
5. Con la nueva metodología basada en tiempos térmicos (TT) se puede estimar rápidamente el potencial de producción de biomasa, la producción de grano, la eficiencia en el uso del agua, la calidad de las pasturas y el valor de la producción biomasa con base en calidad. Es más fácil integrar aspectos como pendientes, rentabilidades, competitividad y beneficios sociales.

El modelo SWAT es más completo para predecir el comportamiento de los nutrientes e insumos aplicados y en incorporar los sistemas de manejo. Permite determinar el estrés causado a la planta por la temperatura, el nitrógeno y el fósforo. Da una mejor explicación del lavado de nutrientes y cómo corregirlo a través de los intervalos entre aplicaciones. El modelo SWAT también puede trabajar con tiempos térmicos para siembras en el hemisferio norte y se está en el proceso de hacer los ajustes para el hemisferio Sur, donde se siembran cultivos todos los meses del año.

Determinando compensaciones por servicios ambientales del agua. Provincia de Chimborazo,  
Ecuador.

Documentos de Trabajo 131 Working Papers



## Bibliografía

Arnold, C. Y. 1959. **The Determination and Significance of the Base Temperature in a Linear Heat Unit System.** Proc. Am. Soc. Hortic. Sci., 74: 430-445.

Cross, H. Z. & M.S. Zuber. 1972. **Prediction of Flowering Dates in Maize Based on Different Methods of Estimating Thermal Units.** Agron. J., 64(4): 351-355.

De Janvry, A. and Glikman, P. 1991. **Encadenamientos de producción en la economía campesina del Ecuador.** Estrategias para mitigar la pobreza rural en América Latina y el Caribe; 1, Serie FIDA/IICA, no. 1.

Estrada, R. D. 2010. [Sin publicar] **Análisis de datos climatológicos de las corridas de SWAT y predicción de biomasa.**

Fisher, D, B. 1998. **Determining Alfalfa Harvest by Growing Degree Days.** Illini DairyNet papers. University of Illinois Extension.

<http://www.livestocktrail.uiuc.edu/dairyNet/paperDisplay.cfm?ContentID=244>

Gilmore, E. & J. Rogers. (1958). **Heat Units as a Method of Measuring Maturity in Corn.** Agron. J., 50 (5): 611-615.

Yzarraga, W. Trebejo, I. y Noriega, V. 2009. **Evaluación de unidades térmicas para el crecimiento y desarrollo del cultivo de maíz amarillo duro (Zea mays, L.) en la costa central del Perú.** Revista Peruana Geo-Atmosférica (RPGA). (1):1-10.

Monke E.A. and Pearson S.R. 1989. **The Policy Analysis Matrix for Agricultural Development.** Cornell University Press Ithaca

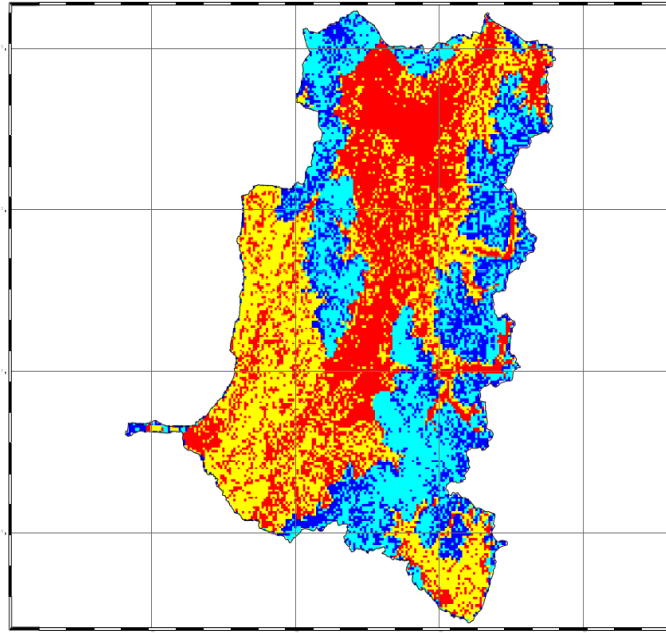
NY. <http://www.stanford.edu/group/FRI/indonesia/documents/pambook/pambook.pdf>

Determinando compensaciones por servicios ambientales del agua. Provincia de Chimborazo, Ecuador.

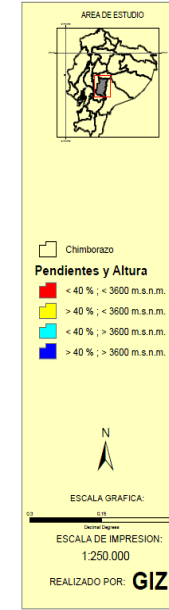
Documentos de Trabajo I31 Working Papers



# MAPA DE PENDIENTES PROVINCIA DE CHIMBORAZO



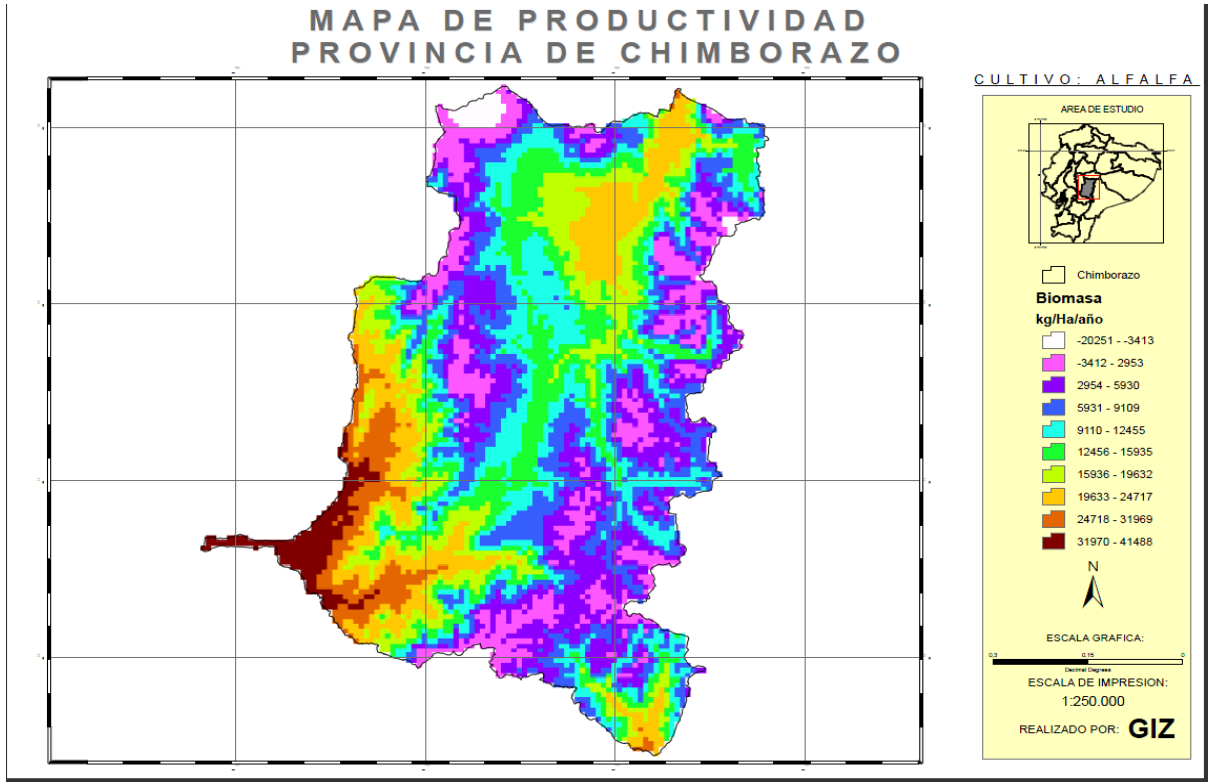
CULTIVO: ALFALFA



Determinando compensaciones por servicios ambientales del agua. Provincia de Chimborazo, Ecuador.

Documentos de Trabajo 131 Working Papers

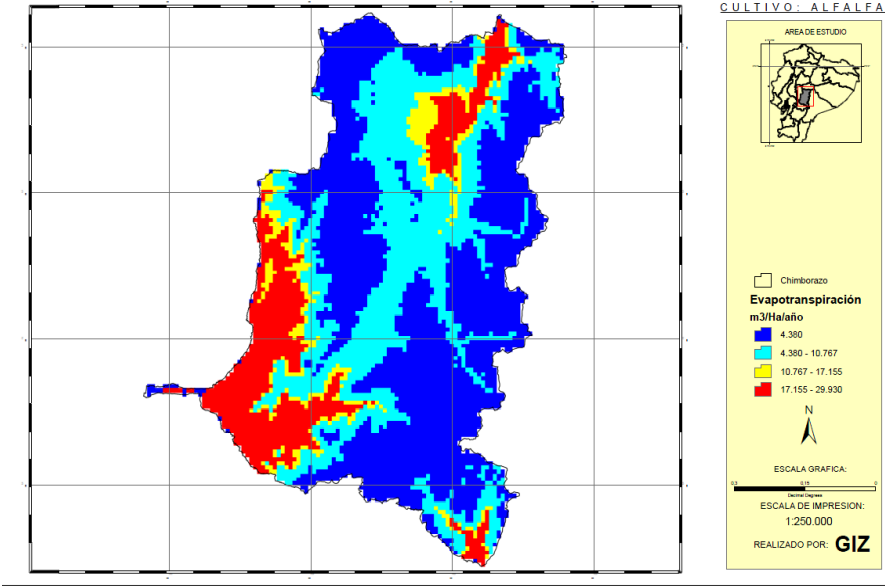
# MAPA DE PRODUCTIVIDAD PROVINCIA DE CHIMBORAZO



Determinando compensaciones por servicios ambientales del agua. Provincia de Chimborazo, Ecuador.

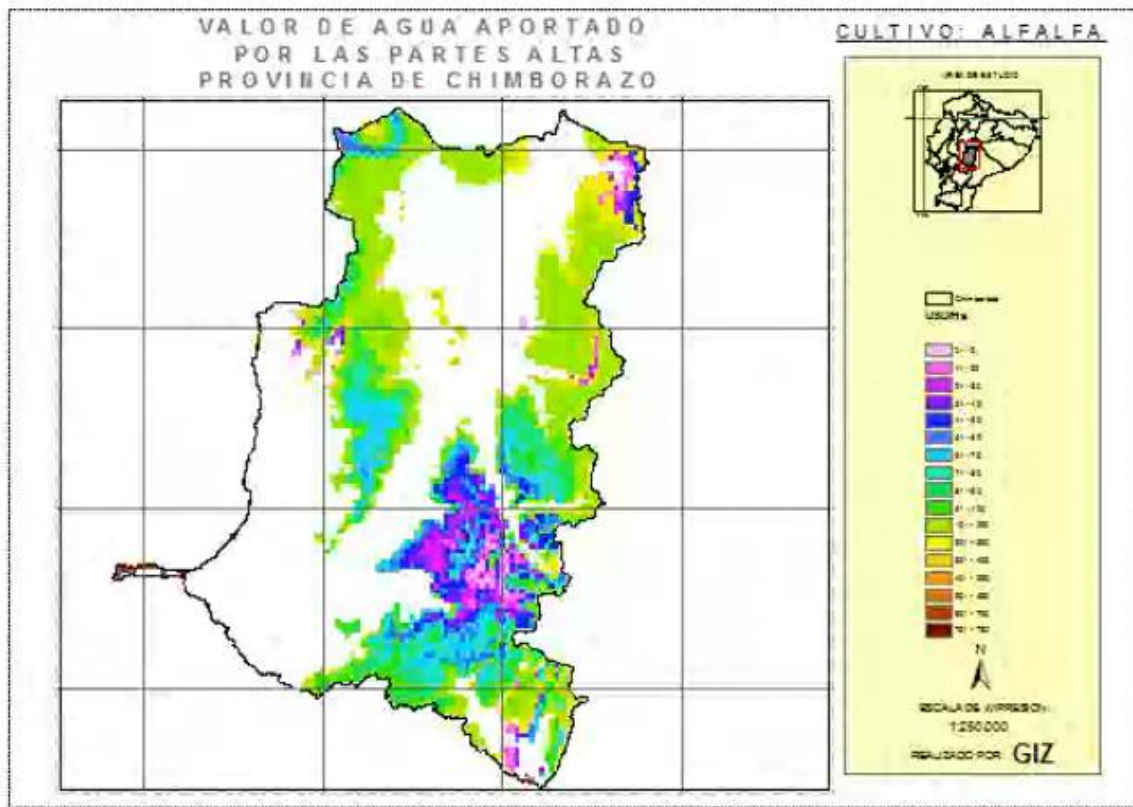
Documentos de Trabajo I31 Working Papers

# MAPA DE EVAPOTRANSPIRACIÓN PROVINCIA DE CHIMBORAZO



Determinando compensaciones por servicios ambientales del agua. Provincia de Chimborazo,  
Ecuador.

Documentos de Trabajo 131 Working Papers



Determinando compensaciones por servicios ambientales del agua. Provincia de Chimborazo, Ecuador.

Documentos de Trabajo 131 Working Papers